

**PENGARUH VARIASI SUHU KARBONISASI DAN JENIS *ACTIVATOR AGENT*
TERHADAP KARAKTERISTIK KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KEMIRI
(*Aleurites moluccana*)**

SKRIPSI

Oleh:

GHINA NISRINA SALSABILA

145100601111014



**JURUSAN KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

**PENGARUH VARIASI SUHU KARBONISASI DAN JENIS *ACTIVATOR AGENT*
TERHADAP KARAKTERISTIK KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KEMIRI
(*Aleurites moluccana*)**

Oleh:

GHINA NISRINA SALSABILA

145100601111014

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana Teknik**



**JURUSAN KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

2018

LEMBAR PENGESAHAN

Judul TA : Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi dan Jenis *Activator agent* terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*)

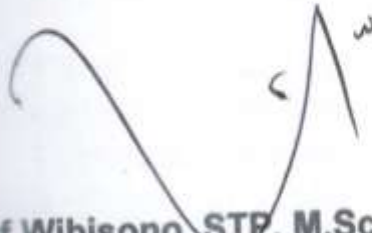
Nama Mahasiswa : Ghina Nisrina Salsabila

NIM : 145100601111014

Jurusan : Keteknikan Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Pembimbing Pertama,



Yusuf Wibisono, STP, M.Sc., PhD
NIP. 19800107 200212 1 003

Pembimbing Kedua,



Shinta Rosalia Dewi, S.Si, M.Sc.
NIK. 2012018612182001

Dosen Penguji,



La Choviya Hawa, STP, M.P, PhD
NIP. 19780307 200012 2 001



La Choviya Hawa, STP, M.P, PhD
NIP. 19780307 200012 2 001

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul TA : Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi dan
Jenis *Activator agent* terhadap
Karakteristik Karbon Aktif dari Tempurung
Kemiri (*Aleurites moluccana*)

Nama Mahasiswa : Ghina Nisrina Salsabila
NIM : 145100601111014
Jurusan : Keteknikan Pertanian
Fakultas : Teknologi Pertanian

Pembimbing Pertama,



Yusuf Wibisono, STP. M.Sc. PhD
NIP. 19800107 200212 1 003

Pembimbing Kedua,



Shinta Rosalia Dewi, S.Si, M.Sc
NIK. 2012018612182001

Tanggal persetujuan :

Tanggal Persetujuan :

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Ghina Nisrina Salsabila
NIM : 145100601111014
Program Studi : Teknik Pertanian Minat Teknologi
Bioproses
Jurusan : Keteknikan Pertanian
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi
dan Jenis *Activator agent* terhadap
Karakteristik Karbon Aktif dari
Tempurung Kemiri (*Aleurites
moluccana*)

Menyatakan bahwa,

Tugas Akhir dengan judul diatas merupakan karya asli penulis tersebut. Apabila dikemudian hari terbukti pernyataan ini tidak benar maka saya bersedia dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Malang, Juli 2018

Pembuat Pernyataan



Ghina Nisrina Salsabila
NIM 145100601111014

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bukittinggi pada tanggal 5 Maret 1996 dengan nama lengkap Ghina Nisrina Salsabila. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara dari ayah yang bernama Ayep Syamsuadi Welly Hartono dan Ibu bernama Kharlita. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDN 13 Padang Tinggi pada tahun 2008, kemudian melanjutkan ke sekolah menengah pertama di MTsN Kota Payakumbuh dengan tahun kelulusan 2011, dan melanjutkan studi ke jenjang sekolah menengah di MAN 2 Kota Payakumbuh dengan menyelesaikan masa studi pada tahun 2014.

Pada tahun 2018 penulis telah berhasil menyelesaikan pendidikannya di Universitas Brawijaya Malang pada program studi Teknologi Bioproses, Jurusan Ketenikan Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian, penulis diterima melalui jalur SNMPTN pada tahun 2014. Pada masa pendidikannya, penulis aktif sebagai : asisten praktikum, anggota kepanitian Orientasi Pengenalan Jurusan TEP UB 2015, sekretaris HIMATETA CUP 2016, serta kepanitian-kepanitianan lainnya yang ada di jurusan Keteknikan Pertanian, pernah meraih Juara Harapan I PKM-P dalam Lomba Program Kreativitas Mahasiswa Baru, menjadi anggota staff bidang Pengolahan Internal HIMATETA 2014-2015 serta menjabat sebagai staff ahli bidang dana dan usaha selama 2 tahun di HIMATETA periode 2015-2017. Penulis juga aktif menjadi staff Litbang dalam Ikatan Mahasiwa Teknik Pertanian Indonesia (IMATETANI pada periode 2016-2017,



**Alhamdulillah, terima kasih Ya Allah
Karya kecil ini aku persembahkan kepada**

kedua Orang Tuaku,
Kharlita dan Ayep Syamsuadi Welly Hartono

Saudara saya
Annisa Nabila Lutfiyah
Ghani Fadhil Hibatullah
Alwan Taufiqulrahman

GHINA NISRINA SALSABILA. 145100601111014. Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi dan Jenis *Activator agent* terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*). Skripsi. Dosen Pembimbing: Yusuf Wibisono, STP, M.Sc, PhD dan Shinta Rosalia Dewi, S.Si, M.Sc

RINGKASAN

Tanaman kemiri merupakan salah satu hasil perkebunan yang cukup penting. Tanaman kemiri biasanya hanya diambil bijinya saja sehingga menyisakan limbah berupa tempurung kemiri. Limbah tempurung kemiri mengandung holoselulosa (hemiselulosa dan selulosa) sebesar 49,22% dan lignin sebesar 54,68%. Tingginya kandungan lignoselulosa di dalam tempurung kemiri memungkinkan tempurung kemiri diolah sebagai bahan baku dalam pembuatan arang aktif atau karbon aktif. Karbon aktif adalah karbon yang sudah diaktifkan untuk membuka pori-porinya sehingga daya serapnya lebih besar dari karbon biasa. Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai bahan organik maupun non-organik, selama bahan tersebut mengandung unsur karbon (C) yang diolah menggunakan suhu tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu karbonisasi dan pengaruh jenis *activator agent* terhadap karakteristik karbon aktif dari bahan tempurung kemiri.

Penelitian ini dilakukan menggunakan percobaan Rancang Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan 3 kali pengulangan. Dimana terdapat 2 faktor yang digunakan yaitu faktor I merupakan suhu karbonisasi yang terdiri dari 3 tingkat yaitu suhu 400°C dan 600°C. Faktor II merupakan variasi *activator agent* yang digunakan yang terdiri dari ZnCl_2 , CaCl_2 dan CH_3COOH . Dari 2 faktor tersebut dilakukan kombinasi sehingga didapatkan 6 perlakuan, dilakukan 3 kali pengulangan sehingga akan didapatkan 18 perlakuan dan 6 kontrol dari kombinasi 2 faktor tersebut yaitu variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent*. Pengujian yang akan dilakukan adalah pengujian kadar air, pengujian daya serap iodin dan perhitungan luas permukaan, serta untuk hasil terbaik dilakukan pencitraan SEM-EDX.

Pada penelitian ini diperoleh hasil berpengaruh sangat nyata terhadap pengaruh variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent* yang digunakan pada pembuatan karbon aktif dari bahan tempurung kemiri. Perlakuan terbaik didapat pada perlakuan suhu karbonisasi 600°C dengan jenis *activator agent* CH_3COOH dan hasil parameter yang didapatkan sebagai berikut bilangan iodin sebesar 629,9054 mg/g, luas permukaan pori karbon aktif sebesar 694,6609 m^2/g dan nilai kadar air yang didapatkan sebesar 0,6663% serta mempunyai struktur permukaan berongga dan berpori terbuka meskipun masih terdapat zat pengotor yang menutupi pori, dengan persentasi berat komponen atom penyusun karbon mencapai 87,1630%.

Kata Kunci: *activator agent*, karbon aktif, suhu karbonisasi, tempurung kemiri

Ghina Nisrina SALSABILA. 145100601111014. Effect Of Temperature Variation Carbonization And Type *Activator agent* Against Characteristics Activated Carbon From Candlenut Shell (*Aleurites moluccana*). Essay. Lecturer: Yusuf Wibisono, STP, M.Sc, Ph.D. And Shinta Dewi Rosalia, S.Si, M.Sc. Examiners La Choviya Hawa, STP, M.P, Ph.D

SUMMARY

The candlenut plant is one of the important plantation products. Candlenut plants are usually harvested seeds only thus produce shell waste. Candlenut shell waste contains holoselulosa (hemicellulose and cellulose) of 49.22% and lignin of 54.68%. The high content of lignocellulose in candlenut shell allows it is used as activated carbon. Activated carbon is carbon that has large pores so has higher absorption than unactivated carbon. Activated carbon can be made from a variety of organic and inorganic materials, as long as these materials contain carbon (C) element. This study aim was to determine the effect of carbonization temperature and *activator agents* on the characteristics of activated carbon from candlenut shell.

This research was conducted using experiment Group Randomized Design (GRD) factorial with 3 repetitions. There are 2 factors were carbonization temperature (400 °C, 600 °C) and *activator agents* (ZnCl₂, CaCl₂, and CH₃COOH). The factor of 2 combinations obtained 6 treats with 3 repetitions and 6 control. Moisture content, iodine absorption and surface area were investigated, while the best result was analyzed using SEM-EDX.

The results showed a very significant effect of the variation of carbonization temperature and the *activator agents* on the activated carbon. The best treatment was obtained on treatment with carbonization temperature of 600 °C and *activator agent* of CH₃COOH. The result showed the number of iodine of 629.9054 mg/g, activated carbon pore surface area of 694.6609 m²/g and moisture content of 0.6663%. SEM images showed that activated carbon surface was porous material even though there was still impurities in the pores. The percentage of the carbon atom in activated carbon was 87.1630%.

Keywords: *activator agent*, activated carbon, temperature carbonization, candlenut shell

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Karakteristik Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri (*Aleurites Moluccana*) sebagai Adsorben dengan Variasi Suhu Karbonisasi dan Jenis *Aktivator Agent*” dapat disusun dengan baik. Shalawat dan salam semoga terlimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknologi Pertanian. Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang memberi bantuan dan bimbingan secara langsung maupun tidak langsung. Ucapan terima kasih yang utama, saya sampaikan kepada :

1. Yusuf Wibisono, STP, M.Sc, PhD dan Shinta Rosalia Dewi, S.Si, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, ilmu dan pengetahuan kepada penyusun.
2. La Choviya Hawa, STP, MP, PhD, selaku dosen penguji atas segala saran dan masukannya.
3. La Choviya Hawa, STP, MP, PhD, selaku Ketua Jurusan Keteknikan Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya.
4. Terutama kedua orang tua, saudara dan keluarga yang telah memberi dukungan baik secara moral maupun materil.
5. Dan semua pihak yang telah membantu penyelesaian skripsi ini. Semoga menjadi amal baik dan mendapatkan pahala yang sepadan dari Tuhan Yang Maha Esa

Menyadari adanya keterbatasan pengetahuan, referensi dan pengalaman, penyusun mengharapkan saran dan masukan demi lebih baiknya skripsi ini. Akhirnya harapan penyusun semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penyusun maupun semua pihak yang membutuhkan.

Malang, Januari 2018
Penyusun,

Ghina Nisrina Salsabila
NIM 145100601111014

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
RIWAYAT HIDUP	v
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	vii
RINGKASAN	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
 I. PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tanaman Kemiri	5
2.2 Karbon Aktif	6
2.3 Proses Pembuatan Karbon Aktif	8
2.4 <i>Activator agent</i>	10
2.4.1 Seng Klorida (ZnCl_2)	10
2.4.2 Kalsium Klorida (CaCl_2)	10
2.4.3 Asam Asetat (CH_3COOH)	11
2.5 Adsorben	11
2.6 Karakteristik Adsorben	13
III. METODE PENELITIAN	15
3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.2.1 Alat	15
3.2.2 Bahan	16

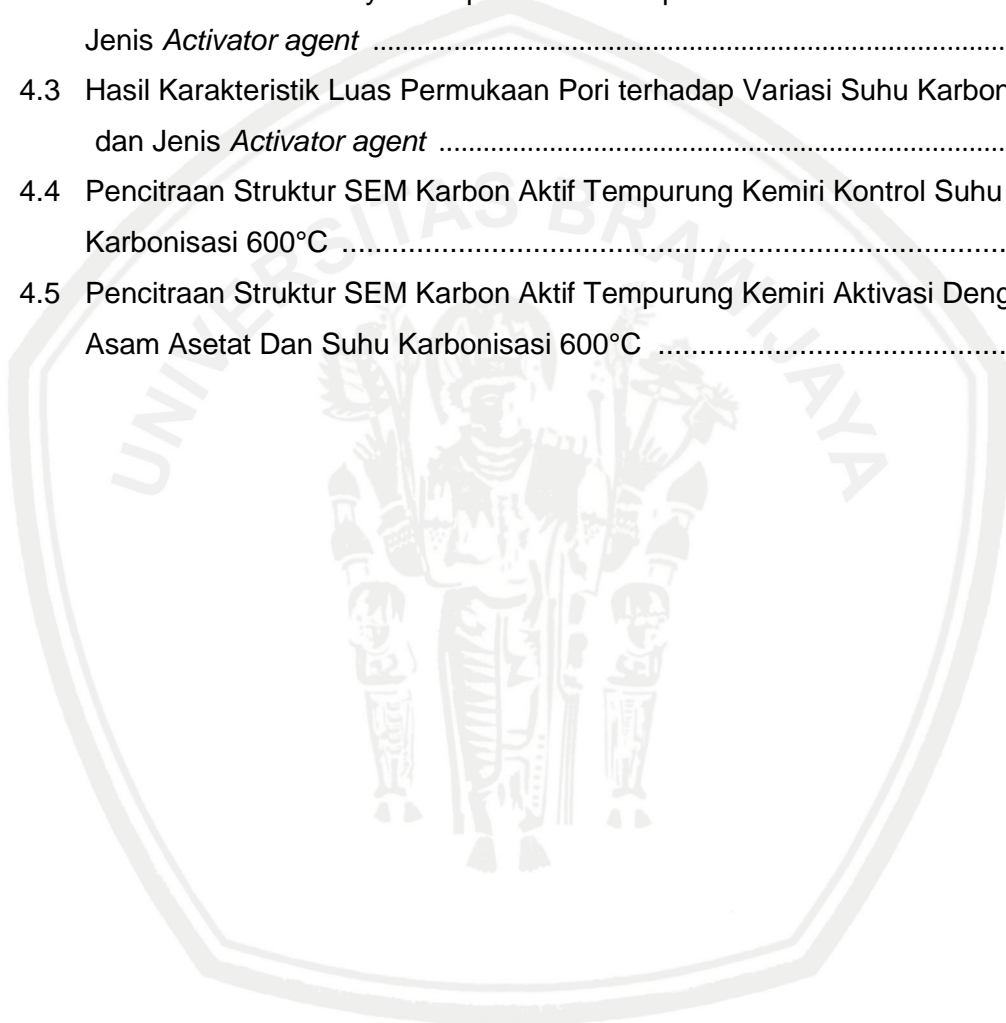
3.3 Metode Penelitian	16
3.4 Pelaksanaan Penelitian	18
3.4.1 Preparasi Sampel	19
3.4.2 Tahapan Dehidrasi	18
3.4.3 Tahapan Karbonisasi	18
3.4.4 Tahapan Aktivasi	19
3.5 Pengamatan dan Analisis Data	21
3.5.1 Parameter Pengamatan	21
3.5.2 Analisis Data	23
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Kadar Air Karbon Aktif Tempurung Kemiri	25
4.1.1 Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi terhadap Kadar Air	27
4.1.2 Pengaruh Variasi Jenis <i>Activator agent</i> terhadap Kadar Air.....	29
4.1.3 Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi dan Jenis <i>Activator agent</i> terhadap Kadar Air.....	31
4.2 Daya Serap Larutan Iodin Karbon Aktif Tempurung Kemiri	33
4.2.1 Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi terhadap Daya Serap Larutan Iodin	36
4.2.2 Pengaruh Variasi Jenis <i>Activator agent</i> terhadap Daya Serap Larutan Iodin	40
4.2.3 Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi dan Jenis <i>Activator agent</i> terhadap Daya Serap Larutan Iodin	43
4.3 Luas Permukaan Pori Karbon Aktif Tempurung Kemiri.....	44
4.3.1 Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi terhadap Perhitungan Luas Permukaan Karbon Aktif	48
4.3.2 Pengaruh Variasi Jenis <i>Activator agent</i> terhadap Perhitungan Luas Permukaan Karbon Aktif	49
4.3.3 Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi dan Jenis <i>Activator agent</i> terhadap Luas Permukaan Pori Karbon Aktif	50
4.4 Pengujian SEM EDX.....	52
V. PENUTUP	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	63

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
2.1	Kandungan Unsur Tempurung Kemiri	6
2.2	Komponen Kimia Tempurung Kemiri	6
2.3	Klasifikasi Karbon Aktif Berdasarkan Bentuknya	7
2.4	Kualitas Karbon Aktif Menurut SNI 1995	8
3.1	Variabel penelitian Dari Kombinasi Suhu dan <i>Activator agent</i>	17
3.2	Kombinasi Perlakuan Suhu Karbonisasi dengan Jenis <i>Activator agent</i> .	17
4.1	Data Hasil Penelitian Kadar Air Karbon Aktif Tempurung Kemiri	25
4.2	Hasil Uji DMRT Kadar Air Berdasarkan Suhu Karbonisasi	28
4.3	Hasil Uji DMRT Nilai Kadar Air Berdasarkan Jenis <i>Activator Agent</i>	30
4.4	Rerata Nilai Kadar Air Berdasarkan Kombinasi Faktor Variasi Suhu Karbonisasi dan Jenis <i>Activator agent</i>	32
4.5	Data Hasil Penelitian Daya Serap Iodin	34
4.6	Hasil Uji DMRT Bilangan Iodin Berdasarkan Suhu Karbonisasi	36
4.7	Hasil Uji DMRT Nilai Bilangan Iodin Berdasarkan Jenis <i>Activator agent</i>	41
4.8	Rerata Nilai Daya Serap Iodin Berdasarkan Kombinasi Faktor Variasi Suhu Karbonisasi dan Jenis <i>Activator agent</i>	43
4.9	Data Hasil Penelitian Luas Permukaan Pori	45
4.10	Hasil Uji DMRT Luas Permukaan Pori Berdasarkan Suhu Karbonisasi	48
4.11	Hasil Uji DMRT Luas Permukaan Pori Berdasarkan Jenis <i>Activator Agent</i>	49
4.12	Rerata Nilai Luas Permukaan Pori Berdasarkan Kombinasi Faktor Variasi Suhu Karbonisasi dan Jenis <i>Activator agent</i>	51
4.13	Persentasi Komposisi Atom Penyusun Karbon Aktif Tempurung Kemiri Tanpa Proses Aktivasi Atau Kontrol dengan Suhu Karbonisasi 600°C ..	55
4.14	Persentasi Komposisi Atom Penyusun Karbon Aktif Tempurung Kemiri dengan Aktivator CH ₃ COOH dan Suhu Karbonisasi 600°C	55

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
2.1	Karbon Aktif	7
3.1	Alur Proses Pembuatan Karbon	19
3.3	Proses Aktivasi dan Pengujian Adsorben Karbon Aktif Tempurung Kemiri .	21
4.1	Hasil Karakteristik Kadar Air terhadap Variasi Suhu Karbonisasi dan Jenis <i>Activator agent</i>	26
4.2	Hasil Karakteristik Daya Serap Iodin terhadap Variasi Suhu Karbonisasi dan Jenis <i>Activator agent</i>	34
4.3	Hasil Karakteristik Luas Permukaan Pori terhadap Variasi Suhu Karbonisasi dan Jenis <i>Activator agent</i>	46
4.4	Pencitraan Struktur SEM Karbon Aktif Tempurung Kemiri Kontrol Suhu Karbonisasi 600°C	53
4.5	Pencitraan Struktur SEM Karbon Aktif Tempurung Kemiri Aktivasi Dengan Asam Asetat Dan Suhu Karbonisasi 600°C	54



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara penghasil sumber daya alam yang sangat melimpah, salah satunya yaitu dalam produksi perkebunan rakyat yang merupakan pengelompokan dalam usaha kecil yang diselenggarakan atau dikelola oleh rakyat. Contoh produk perkebunan rakyat yaitu tanaman kemiri. Menurut Badan Pusat Statistik pada tahun 2015 jumlah tanaman kemiri di Indonesia mencapai 100,7 ribu ton. Dengan banyaknya hasil tanaman kemiri ini, maka banyak kegiatan produksi yaitu dilakukannya pengolahan terhadap tanaman kemiri atau dapat langsung dijual di pasaran. Hal ini hanya terjadi pada biji kemiri, tidak sama halnya dengan tempurung kemiri yang hanya menjadi limbah.

Tempurung kemiri memang merupakan limbah organik yang memiliki tekstur yang keras sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk proses penguraian secara alami. Dengan memperhatikan faktor lingkungan tersebut dan untuk mengurangi jumlah peningkatan limbah dari tempurung kemiri ini maka dilakukan upaya pengolahan terhadap limbah tersebut. Dilakukannya pengolahan bertujuan untuk meningkatkan nilai ekonomi dan menanggulangi penumpukan limbah tempurung kemiri agar dapat menghasilkan produk yang ramah dan aman terhadap lingkungan. Salah satu upaya pengolahan yaitu mengolah tempurung kemiri menjadi karbon aktif yang memiliki banyak manfaat, karena menurut Loas, dkk (2016), karbon aktif selain dimanfaatkan sebagai bahan bakar, dapat juga dijadikan sebagai adsorben (penyerap) dalam proses pemisahan gas, penyerapan kontaminan dalam air, *recovery solvent*, katalis dan penyangga katalis.

Bahan organik dan non organik yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif yaitu bahan yang mengandung hemiselulosa, selulosa dan lignin yang tinggi. Dimana tempurung kemiri merupakan salah satu bahan organik yang sangat cocok untuk dijadikan bahan baku dari karbon aktif karena. Menurut Lempang (2009), tempurung kemiri memiliki kandungan holoselulosa (hemiselulosa dan selulosa) sebesar 49,22% dan lignin sebesar 54,68%. Tingginya kandungan unsur holoselulosa dan lignin menyebabkan tempurung kemiri

memiliki potensi yang besar untuk dijadikan sebagai bahan baku dalam pembuatan karbon aktif. Selain 3 kandungan tersebut yang dapat dijadikan bahan baku pembuatan karbon aktif, kekerasan suatu bahan juga dapat dijadikan pertimbangan, dimana dalam pembuatan adsorben bergantung pada karakteristik bahan yang digunakan. Ukuran partikel dan densitas merupakan salah satu parameter bahan baku untuk dijadikan karbon aktif. Semakin besar porositas dan semakin besar densitas bahan baku maka akan menghasilkan nilai karbon yang tinggi dan mempengaruhi daya serap dari suatu adsorben yang dihasilkan.

Karbon aktif merupakan senyawa karbon amorf, yang dapat dihasilkan dari bahan organik maupun non organik yang telah diaktivasi dan akan mengalami perubahan sifat-sifat fisika dan kimia, sehingga menghasilkan pori-pori yang terbuka dengan daya serap lebih tinggi dari karbon biasa. Menurut Lempang (2014), proses pembuatan arang aktif dilakukan melalui tahapan dehidrasi yaitu proses penghilangan air, yang dilanjutkan karbonisasi yaitu proses penguraian selulosa organik menjadi unsur karbon, serta mengeluarkan senyawa - senyawa non karbon dan tahapan aktivasi yaitu proses pembentukan dan penyusunan karbon sehingga pori - pori menjadi lebih besar.

Pada penelitian sebelumnya, menurut Turmuzi (2015), karbon aktif dari bahan kulit salak dengan aktivasi secara kimia menghasilkan hasil karbon aktif terbaik yaitu berupa daya serap terhadap iodin dan luas permukaan pada suhu karbonisasi 600°C. Maka dapat dikatakan bahwa semakin tinggi suhu maka daya serap terhadap Iodin dan luas permukaan semakin baik. Pada penelitian Siahaan dkk (2013) suhu dan waktu karbonisasi optimum untuk sekam padi, yaitu 400°C selama 120 menit dengan kadar karbon terikat 41,3 %, kadar air 6,1 %, kadar abu 32,6 % dan kadar zat mudah menguap 20,5 %.

Perbedaan bahan baku, waktu dan suhu karbonisasi, cara aktivasi, serta konsentrasi aktivator, yang digunakan dapat menyebabkan sifat dan mutu arang aktif berbeda pula. Tujuan penelitian ini adalah membuat karbon aktif dengan proses aktivasi kimia dan mencari kondisi optimum untuk mendapatkan arang aktif yang sesuai dengan standar SNI No. 06-3730-1995, yang diuji yaitu kadar air, daya serap terhadap larutan iodin dan luas permukaan karbon aktif.

Dalam mengoptimalkan pemanfaatan arang tempurung kemiri dan meningkatkan nilai ekonomisnya maka dibuat menjadi arang aktif secara kimia yang digunakan untuk mengetahui karakteristik dari karbon aktif tempurung kemiri. Dari penelitian ini didapatkan data pembuatan arang aktif dalam berbagai variasi suhu karbonisasi yaitu sebesar 400°C dan 600°C selama 2 jam dengan perendaman dengan zat ZnCl_2 , CaCl_2 dan CH_3COOH selama 24 jam. Arang aktif yang dihasilkan akan diuji kualitas kadar air, daya serap iodin dan dibandingkan dengan kualitas SNI arang aktif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perumusan masalah pada penelitian ini meliputi:

1. Bagaimana pengaruh suhu karbonisasi terhadap karakteristik karbon aktif dari bahan tempurung kemiri?
2. Bagaimana pengaruh jenis *activator agent* terhadap karakteristik karbon aktif dari bahan tempurung kemiri?
3. Bagaimana kualitas dan karakteristik adsorben karbon aktif dari bahan tempurung kemiri?

1.3 Tujuan

Tujuan dari dilakukan penelitian ini meliputi:

1. Menganalisis pengaruh suhu karbonisasi terhadap karakteristik karbon aktif dari bahan tempurung kemiri
2. Menganalisis pengaruh jenis *activator agent* terhadap karakteristik karbon aktif dari bahan tempurung kemiri.
3. Menganalisis karakteristik pencitraan SEM-EDX berdasarkan suhu karbonisasi dan jenis *activator agent* yang terbaik dari pembuatan karbon aktif tempurung kemiri.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari dilakukannya penelitian ini diantaranya:

1. Mengurangi permasalahan limbah organik tempurung kemiri.

2. Memberi informasi ilmiah mengenai proses pembuatan karbon aktif dari tempurung kemiri.
3. Memberikan informasi ilmiah mengenai pengaruh suhu karbonisasi terhadap kadar air, daya serap larutan iodin, dan perhitungan luas permukaan karbon aktif pada karbon aktif dari bahan tempurung kemiri.
4. Memberikan informasi ilmiah mengenai pengaruh jenis *activator agent* terhadap kadar air, daya serap larutan iodin, dan perhitungan luas permukaan karbon aktif pada karbon aktif dari bahan tempurung kemiri.
5. Memberikan informasi ilmiah mengenai karakteristik karbon aktif dari bahan tempurung kemiri terhadap pencitraan SEM-EDX serta kandungan penyusunnya.

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian yang akan dilakukan terdapat batasan-batasan masalah agar dalam penelitian ini terarah dengan baik dan benar serta tidak melebar jauh. Adapun batasan-batasan masalah tersebut antara lain:

1. Tempurung kemiri bersal dari Flores - Nusa Tenggara Timur.
2. Karakteristik yang dilakukan meliputi pengukuran kadar air, daya serap iodin, dan perhitungan luas permukaan karbon aktif.
3. Tidak membahas analisis energi dan ekonomi dari proses yang dilakukan.
4. Tidak dilakukan penelitian waktu terbaik dalam proses karbonisasi dan aktivasi kimia.
5. Menggunakan metode aktivasi kimia dengan *activator agent* yang digunakan adalah ZnCl_2 , CaCl_2 , dan CH_3COOH serta pemanasan menggunakan furnace dengan suhu 300°C selama 1 jam.
6. Analisis karakteristik pencitraan SEM-EDX berdasarkan suhu karbonisasi dan jenis *activator agent* yang terbaik dari pembuatan karbon aktif tempurung kemiri.
7. Tidak melakukan pengujian terhadap aplikasi karbon aktif yang dihasilkan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Kemiri

Tanaman kemiri (*Aleurites moluccana* Willd) adalah suatu tanaman yang berasal dari famili *Euphorbiaceae*. Kemiri pada mulanya berasal dari Hawaii kemudian tersebar sampai ke Polynesia Barat lalu ke Indonesia dan Malaysia. Secara sistematis, tanaman ini dikalsifikasikan sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Sub divisi	: <i>Angiospermae</i>
Class	: <i>Dicotyledoneae</i>
Ordo	: <i>Archichlamydae</i>
Familia	: <i>Euphorbiaceae</i>
Genu	: <i>Aleurites</i>
Spesies	: <i>Aleurites moluccana</i> , Willd.

Kemiri tergolong pohon berukuran sedang dengan tajuk lebar yang dapat mencapai ketinggian hingga 20 m dan diameter setinggi dada hingga 90 cm. Kulit batangnya berwarna abu-abu coklat dan bertekstur agak halus dengan garis-garis vertikal yang indah. Daunnya mudah dikenali dari bentuknya yang khas, umumnya terdiri dari 3–5 helai daun dari pangkal, berselang-seling dan pinggir daun bergelombang. Buah kemiri berwarna hijau sampai kecoklatan, berbentuk oval sampai bulat dengan panjang 5–6 cm dan lebar 5–7 cm. Satu buah kemiri umumnya berisi 2–3 biji, tetapi pada buah jantan kemungkinan hanya ditemukan satu biji. Biji kemiri dapat dimakan jika dipanggang terlebih dahulu. Dan pada kulit biji kemiri umumnya kasar, hitam, keras dan berbentuk bulat panjang sekitar 2,5–3,5 cm (Krisnawati dkk, 2011).

Kemiri terdiri dari batang kayu, daun, biji, dan tempurung bijinya. Setiap bagian tanaman kemiri ini memiliki manfaat masing-masing yaitu untuk batang kayu kemiri berfungsi untuk pembuat korek api, daun tanaman kemiri berguna sebagai obat tradisional, biji kemiri untuk bumbu masakan dan tempurung biji kemiri berfungsi sebagai bahan bakar, obat nyamuk bakar atau sebagai arang. Tempurung kemiri (*Candlenut shell*) sangat potensial sebagai sumber bahan baku karbon aktif. Hal ini

disebabkan kepada kemiripan kandungan komposisi unsur yang dimilikinya dengan kayu, biji ceri yang meliputi unsur C, H, N, S dan O seperti yang disajikan pada **Tabel 2.1**. Kandungan komponen kimia dari tempurung kemiri dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.1. Kandungan Unsur Tempurung Kemiri

Unsur	Tempurung kemiri (%)
C	47,50
H	5,80
N	0,16
S	-
O	46,50

Sumber: Turmuzi, 2005

Tabel 2.2. Komponen Kimia Tempurung Kemiri (*Chemical Components of Candlenut Shell*)

No	Komponen	Kadar (%)
1.	Holoselulosa (hemiselulosa dan selulosa)	49,22
2.	Pentosa	14,55
3.	Lignin	54,46
	<i>Ekstraktif</i>	
	- Kelarutan dalam air dingin	1,96
4.	- Kelarutan dalam air panas	6,18
	- Kelarutan dalam alkohol – benzena 1 : 2	2,69
5.	Kelarutan dalam NaOH 1%	17,14
6.	Abu	8,73

Sumber : Lempang,dkk., 2011

Kandungan biomassa lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa dan lignin) yang tinggi di dalam tempurung kemiri memungkinkan tempurung kemiri diolah sebagai bahan baku dalam pembuatan arang aktif atau karbon aktif.

2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah karbon yang sudah diaktifkan sehingga porinya terbuka sehingga daya serapnya lebih besar dari karbon biasa. Karbon aktif berbentuk amorf disusun oleh atom-atom karbon yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi yang hexagonal. Dengan menghilangkan hidrokarbon pada permukaan tersebut maka permukaan karbon menjadi lebih luas sehingga daya serapnya menjadi lebih besar. Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai bahan organik maupun non organik, selama bahan tersebut mengandung unsur karbon (C) (Azahry, 2008).






Gambar 2.1 Karbon Aktif

Menurut Khuluk (2016), karbon aktif pada **Gambar 2.1** diperoleh dengan proses aktivasi. Proses aktivasi merupakan proses untuk menghilangkan zat-zat pengotor yang melapisi permukaan arang sehingga dapat meningkatkan porositas karbon aktif. Luas permukaan (*surface area*) adalah salah satu sifat fisik dari karbon aktif. Arang aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan.

Jenis karbon aktif dapat diklasifikasi berdasarkan bentuknya dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Klasifikasi Karbon Aktif Berdasarkan Bentuknya

Jenis Karbon	Ukuran (mm)	Kegunaan	Bentuk
<i>Powdered Activated Carbon (PAC)</i>	<0,18	Digunakan pada fasa cair	
<i>Granular Activated Carbon (GAC)</i>	0,2-5	Digunakan pada fasa cair dan gas	
<i>Extruded Activated Carbon (EAC)</i>	0,8-5	Digunakan pada fasa gas	

Sumber: (Martin, 2008 dalam Khuluk, 2016)

Kualitas karbon aktif dapat dipengaruhi oleh jenis bahan yang digunakan, teknologi pengolahan, cara pengerjaan dan ketetapan

penggunaannya. Berdasarkan standar SNI 06-3730-1995 kualitas karbon aktif harus memenuhi standar seperti ditampilkan pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Kualitas Karbon Aktif Menurut SNI 1995

No	Uraian	Persyaratan Kualitas	
		Butiran	Serbuk
1	Kadar zat teruap (%) (bagian yang hilang pada pemanasan 950°C)	Maks 15	Maks 25
2	Kadar air (%)	Maks 4,5	Maks 15
3	Kadar abu (%)	Maks 2,5	Maks 10
4	Bagian yang tidak mengarang	0	0
5	Karbon aktif murni (%)	Min 80	Min 65
6	Daya serap terhadap I ₂ , (mg/g)	Min 750	Min 750
7	Daya serap terhadap benzen (%)	Min 25	-
8	Daya serap terhadap biru metilen mg/g	Min 60	Min 120
9	Berat jenis curah, g/ml	0,46-0,55	0,3-0,35
10	Lolos mesh 325 (%)	-	Min 90
11	Jarak mesh (%)	90	-
12	Kekerasan (%)	80	-

Sumber: (SNI 06-3730-1995 dalam Trilaksana, 2017)

2.3 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Seiring dengan perkembangan industri, kebutuhan arang aktif juga semakin meningkat, baik untuk kebutuhan ekspor maupun domestik. Maka untuk menghasilkan arang aktif tersebut dilakukan proses pembuatan karbon aktif dengan metode menurut Lempang (2014) dehidrasi, karbonisasi dan aktivasi.

1. Dehidrasi

Dehidrasi merupakan proses penguapan kadar air dalam suatu bahan yang akan digunakan dengan menggunakan proses pemanasan. Proses pemanasan dapat berupa penyinaran di bawah sinar matahari atau menggunakan oven hingga diperoleh bobot bahan baku yang konstan. Dari proses dehidrasi ini, diperoleh bahan baku kering karena kandungan air di dalam sampel telah berkurang.

2. Proses Karbonisasi

Proses karbonisasi merupakan proses pirolisis (pembakaran) yang tidak sempurna pada suhu tertentu dan jumlah oksigen yang terbatas dari bahan baku yang mengandung karbon, biasanya alat yang digunakan untuk proses karbonisasi yaitu tanur *furnace*. Di proses karbonisasi ini menyebabkan terjadinya proses penguraian senyawa organik yang menyusun struktur bahan membentuk methanol, uap-uap

asam asetat, tar-tar dan hidrokarbon. Material padat yang tinggal setelah karbonisasi adalah karbon dalam bentuk arang dengan area permukaan spesifik yang sempit (Cheresmisinoff,1993 dalam Azhary,2008).

Proses karbonisasi umumnya dilakukan pada suhu 400-600°C. Pada proses ini akan terjadi penguapan air (H₂O) yang disusul dengan pelepasan gas karbon dioksida (CO₂) dan selanjutnya terjadi peristiwa eksotermis yang merupakan tahap permulaan proses karbonisasi. Karbonisasi dianggap sempurna jika asap sudah tidak terbentuk lagi. Kualitas hasil karbonisasi ditentukan oleh banyaknya kandungan karbon, semakin tinggi kandungan karbon maka kualitasnya semakin baik. Faktor yang mempengaruhi karbonisasi yaitu jumlah kadar air, ketebalan dan kekerasan bahan baku, dan udara yang terdapat di sekitar alat pembakaran serta waktu pembakaran. Tujuan dari proses karbonisasi adalah untuk menghasilkan butiran yang mempunyai daya serap dan struktur yang rapi. Untuk mempertinggi daya serap karbon dan membersihkan pori-pori karbon yang masih tertutupi oleh metanol, uap-uap asam asetat, tar-tar dan hidrokarbon, maka perlu dilakukan tahapan selanjutnya yaitu proses aktivasi.

3. Proses Aktivasi

Proses aktivasi merupakan proses pembentukan dan penyusunan karbon sehingga pori-pori menjadi lebih besar. Dimana proses aktivasi ini, dapat dilakukan dengan cara perendaman bahan baku yang telah melalui proses karbonisasi ke dalam suatu *activator*.

Menurut Azhary (2008), proses aktivasi dilakukan untuk memperbesar luas permukaan total karbon hasil dari pemanasan karbonisasi dengan melakukan pelepasan hidrokarbon yang melekat pada arang sehingga daya serapnya bertambah. Pengaktifan karbon dari hasil pengarangan dilakukan dengan dua cara yaitu:

a. Aktivasi Thermal

Aktivasi thermal adalah proses aktivasi yang melibatkan adanya gas pengoksidasi seperti udara pada temperatur rendah, uap, CO₂, atau aliran gas pada temperatur tinggi.

b. Aktivasi Kimia

Aktivasi kimia merupakan suatu proses aktivasi yang menggunakan bahan-bahan kimia yang telah ada dalam karbon

ataupun sengaja ditambahkan untuk menguraikan material selulosa secara kimia. Beberapa bahan kimia yang paling umum digunakan sebagai aktivator yaitu CaCl_2 , MnCl_2 , ZnCl_2 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, H_2SO_4 , H_3PO_4 , NaOH dan lain-lain.

2.4 Activator agent

Dalam aktivasi secara kimia dapat menggunakan beberapa bahan kimia diantaranya sebagai berikut:

2.4.1 Seng Klorida (ZnCl_2)

Seng klorida merupakan salah satu bahan aktivator yang digunakan dalam proses aktivasi karbon aktif secara kimia. Seng klorida merupakan nama dari senyawa kimia dengan rumus ZnCl_2 dan mempunyai sifat sangat larut dalam air, dan higroskopis. Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Jaya (2014) mendapatkan bahwa karbon aktif dari limbah kulit buah kakao dengan zat pengaktif ZnCl_2 10% menghasilkan kadar zat menguap rendah. Tinggi rendahnya kadar zat menguap yang dihasilkan menunjukkan bahwa permukaan arang aktif masih ditutupi oleh senyawa non karbon sehingga mempengaruhi daya serapnya. Sehubungan dengan hal itu, untuk proses adsorpsi kadar zat menguap yang rendah diduga lebih baik dibanding dengan yang tinggi karena semakin luas permukaan pori-pori pada karbon aktif.

2.4.2 Kalsium Klorida (CaCl_2)

Kalsium klorida adalah senyawa anorganik, sebuah garam dengan rumus kimia CaCl_2 . Kalsium klorida berbentuk padatan kristal tak berwarna, sangat larut dalam air, tidak berbau, dan tidak mudah terbakar. Kalsium klorida memiliki sifat higroskopis yang harus disimpan dalam wadah yang kedap udara dan tertutup rapat. Kalsium klorida dalam penelitian ini merupakan salah satu bahan aktivator yang digunakan dalam proses aktivasi karbon aktif secara kimia.

Penelitian sebelumnya oleh Jamilatun (2014) tentang pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa dan aplikasinya untuk penjernihan asap cair, menggunakan jenis aktivator yaitu ZnCl_2 dan CaCl_2 dimana penelitian ini juga menganalisis daya serap iodin sehingga dihasilkan bahwa karbon yang telah diaktifkan dengan ZnCl_2 dan CaCl_2 menghasilkan daya serap iodin yang baik. Semakin besar angka iodin

maka semakin besar kemampuannya dalam mengadsorpsi adsorbat atau zat terlarut. Untuk bilangan Iodin akan semakin bertambah dengan kenaikan suhu, ini berarti bahwa kualitas arang aktif akan semakin baik dalam penyerapan warna. Luas area permukaan pori merupakan suatu parameter yang sangat penting dalam menentukan kualitas dari suatu karbon aktif sebagai adsorben. Hal ini disebabkan karena luas area permukaan pori merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi dari suatu adsorben.

2.4.3 Asam Asetat (CH_3COOH)

Asam asetat merupakan nama dari senyawa kimia dengan rumus CH_3COOH , yang merupakan asam organik *monoprotic acid* yang bersifat asam lemah artinya hanya terdisosiasi sebagian menjadi ion H^+ dan CH_3COO^- . Asam asetat pekat atau murni disebut sebagai asam asetat glasial yang merupakan cairan yang memiliki sifat higroskopis tak berwarna, dan memiliki titik beku $16,7^\circ\text{C}$. Dan asam asetat merupakan pereaksi kimia dan bahan baku industri yang penting. Asam asetat dalam penelitian ini merupakan salah satu bahan aktivator yang digunakan dalam proses aktivasi karbon aktif secara kimia.

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Trilaksana (2017) mendapatkan bahwa karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit dengan suhu karbonisasi yaitu 300°C , 400°C dan 500°C menggunakan zat pengaktif berupa ZnCl_2 10%, CaCl_2 10% dan CH_3COOH 60%. Pada penelitiannya menghasilkan penelitian terbaik pada suhu karbonisasi yaitu 500°C dengan jenis aktivator yaitu CH_3COOH yang menghasilkan struktur karbon berongga atau berpori terbuka.

2.5 Adsorben

Menurut Rahmayani dan Siswarni (2013), adsorben merupakan zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida. Kebanyakan adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori dan adsorpsi berlangsung pada dinding-dinding pori atau pada letak-letak tertentu didalam partikel itu. Pori-pori biasanya sangat kecil maka luas permukaan dalam menjadi beberapa orde lebih besar daripada permukaan luar dan bisa mencapai 2000 m/g. Adsorben yang digunakan secara komersial dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu:

- Adsorben polar disebut juga *hydrophilic*
- Adsorben non polar disebut juga *hydrophobic*

Adsorben adalah zat padat yang digunakan untuk mengadsorpsi atom-atom atau ion-ion yang terkandung dalam gas atau cairan. Zat padat tersebut memiliki daya serap atau disebut juga dengan adsorpsi, dimana daya serap arang aktif merupakan suatu akumulasi atau terkonsentrasinya komponen di permukaan/antar muka dalam dua fasa. Kedua fasa saling berinteraksi, maka akan terbentuk suatu fasa baru yang berbeda dengan masing-masing fasa sebelumnya. Hal ini disebabkan karena adanya gaya tarik-menarik antar molekul, ion atau atom dalam ke dua fasa tersebut.

Menurut Putranto dan Angelina (2014) berdasarkan perbedaan jenis gaya yang bekerja antara molekul-molekul fluida dengan molekul-molekul padatan, adsorpsi dapat diklasifikasi menjadi 2 jenis yaitu:

- Adsorpsi fisika (*Van der Walls adsorption*)

Pada adsorpsi fisika tidak terbentuk ikatan kimia. Penyerapan adsorbat oleh adsorben pada adsorpsi fisika terjadi karena adanya formasi dari intermolekular elektrostatis seperti gaya London atau gaya *Van der Waals* dari interaksi dipol-dipol atau disebabkan konfigurasi fisik dari adsorben seperti porositas dari karbon aktif. Adsorpsi fisika pada gas terjadi ketika gaya tarik intermolekular antara molekul-molekul padatan dengan gas lebih besar daripada gaya intermolekular antar molekul-molekul padatan itu sendiri. Hal tersebut menyebabkan adsorpsi berlangsung secara eksotermik (melepaskan kalor). Kalor yang dilepaskan pada adsorpsi fisika dapat lebih besar atau lebih kecil daripada kalor penguapan.

- Adsorpsi kimia (*activated adsorption*)

Pada adsorpsi kimia terdapat susunan ikatan-ikatan kimia antara adsorben dengan adsorbat. Adsorpsi kimia juga melepaskan kalor dimana kalor yang dilepaskan jauh lebih besar daripada kalor penguapan. Adsorpsi kimia pada gas umumnya berlangsung pada temperatur lebih besar dari 200°C, prosesnya lambat dan bersifat irreversibel.

Menurut Azhary (2008) proses adsorpsi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu :

- a. Sifat fisis dan kimiawi adsorbat (fase terserap) misal: ukuran molekul-molekul, polaritas molekul, komposisi kimiawi dan lain-lain
- b. Sifat fisis dan kimiawi adsorben misalnya luas permukaan ukuran pori-pori, komposisi kimia dan lain-lain.
- c. Sifat dari fase cairan seperti pH dan temperatur.
- d. Konsentrasi dari fase terserap untuk fase cair
- e. Waktu kontak antara fase terserap dengan fase yang diserap.

2.6 Karakteristik Adsorben

Zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida memiliki beberapa karakteristik atau kriteria yang baik untuk dijadikan sebagai adsorben. Kriteria-kriteria adsorben yang baik, antara lain (Seader dan Henley, 1998. dalam Putranto dan Angelina 2014):

- a. Memiliki selektivitas tinggi untuk proses pemisahan
- b. Memiliki kapasitas tinggi untuk meminimalisasi jumlah adsorben yang diperlukan
- c. Memiliki sifat fisik dan sifat kimia yang mendukung proses perpindahan massa secara cepat.
- d. Memiliki stabilitas kimia dan termal, serta sifat kelarutan yang rendah terhadap fluida yang kontak dengan adsorben
- e. Memiliki ketahanan secara fisik dan mekanik
- f. Tidak memiliki kecenderungan untuk mendorong terjadinya reaksi-reaksi kimia yang tidak dikehendaki
- g. Memiliki kemampuan untuk diregenerasi
- h. Memiliki harga yang relatif murah.

Karakteristik adsorben seperti diatas dan berdasarkan fungsinya arang aktif dibedakan dalam dua jenis, yaitu arang aktif penyerap gas yang memiliki pori yang berukuran mikropori dan digunakan untuk menyerap material dalam bentuk uap atau gas, dan arang aktif fasa cair yang memiliki pori berukuran makropori dan digunakan untuk menyerap kotoran/zat yang tidak diinginkan dari cairan atau larutan. Arang aktif

digunakan antara lain dalam bidang industri, kesehatan, lingkungan dan pertanian.



III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim untuk pembuatan arang aktif dan pengujian. Analisis SEM-EDX akan dilakukan di Institut Biosains Universitas Brawijaya. Penelitian dan pengujian akan dilakukan pada bulan Desember 2017 – Maret 2018.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Furnace – Thermo Scientific Typ M110 berfungsi sebagai tempat proses karbonisasi dan pengabuan bahan.
2. Oven – Thermo Scientific Typ UT 6120 berfungsi untuk menguapkan kadar air pada bahan.
3. Perangkat SEM-EDX berfungsi untuk mengetahui morfologi dan komposisi penyusun karbon aktif.
4. Timbangan analitik berfungsi untuk menimbang bahan dan sampel.
5. Ayakan 100 mesh berfungsi untuk penyeragaman ukuran sampel.
6. Kurs porselen berfungsi sebagai wadah bahan baku dalam proses aktivasi.
7. Mortar berfungsi untuk menumbuk karbon aktif hasil karbonisasi.
8. Desikator berfungsi sebagai media penyimpanan dan penyerapan uap air yang terdapat dalam sampel.
9. Magnetic stirrer berfungsi untuk mengaduk karbon aktif dengan larutan iodin.
10. Lemari asam berfungsi sebagai tempat untuk pembuatan larutan asam.
11. Buret dan statif berfungsi sebagai media titrasi.
12. Gelas beker berfungsi sebagai wadah sampel.
13. Labu ukur berfungsi untuk mengencerrkan larutan.
14. Pipet volume dan pipet tetes berfungsi untuk megambil bahan cairan dengan volume tertentu.

15. Bola hisap berfungsi untuk membantu proses pengambilan larutan.
16. Erlenmeyer berfungsi sebagai wadah residu hasil penyaringan.
17. Cawan aluminium berfungsi sebagai wadah dalam proses pengovenan sampel.
18. Loyang berfungsi sebagai wadah bahan saat masuk oven.
19. Kertas saring berfungsi untuk menyaring larutan karbon aktif.
20. Corong berfungsi sebagai tempat proses penyaringan.
21. Spatula berfungsi untuk mengambil bahan.
22. Pengaduk berfungsi untuk mengaduk larutan.
23. Plastik klip berfungsi sebagai tempat penyimpanan karbon aktif.
24. Toples berfungsi sebagai tempat penyimpanan karbon sementara.
25. Silika berfungsi untuk menyerap uap air yang berada didalam toples.

3.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Bahan utama berupa tempurung kemiri yang merupakan limbah padat di Flores, Nusa Tenggara Timur. Bahan baku yang digunakan bersifat kering, berwarna hitam, dan berukuran 1-3 cm.
2. Bahan kimia yang digunakan untuk *activator agent* yaitu berupa ZnCl_2 p.a, CaCl_2 p.a, dan CH_3COOH p.a, serta aquades.
3. Bahan kimia untuk uji bilangan iodin yaitu larutan iodin p.a 0,1 N, larutan natrium tiosulfat p.a 0,1 N, larutan amilum 1%, dan larutan pembakuan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.
4. Bahan lain yang digunakan yaitu kertas lakmus sebagai pendeteksi pH sampel.

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental, yaitu mengadakan percobaan secara langsung untuk memperoleh data yang teliti. Penelitian ini menggunakan variasi suhu karbonisasi yaitu 400°C , dan 600°C selama 2 jam serta *activator agent* yaitu berupa ZnCl_2 10% (b/v), CaCl_2 10% (b/v) dan CH_3COOH 10% (v/v) yang direndam selama 24 jam dalam karakteristik karbon aktif dari

tempurung kemiri terhadap hasil kadar air, daya serat larutan iodin sesuai dengan standar SNI: 06-3730-1995 serta perhitungan luas permukaan karbon aktif dengan metode Rachmani dan Subandriyo (2014) dari karbon aktif yang diperoleh.

Penelitian ini yaitu karakterisasi karbon aktif dari tempurung kemiri sebagai adsorben dengan variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent* menggunakan Rancangan Acak Kelompok Faktorial dengan 3 kali pengulangan. Dimana terdapat 2 faktor yang digunakan yaitu faktor I merupakan suhu karbonisasi yang terdiri dari 2 tingkat yaitu suhu 400°C dan 600°C. Faktor II merupakan variasi *activator agent* yang digunakan yang terdiri dari ZnCl₂ 10% (b/v), CaCl₂ 10% (b/v) dan CH₃COOH 10% (b/v). Dari 2 faktor tersebut dilakukan kombinasi sehingga didapatkan 6 perlakuan, dilakukan 3 kali pengulangan sehingga akan didapatkan 18 perlakuan dengan 6 sampel kontrol dari kombinasi 2 faktor tersebut yaitu variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent*. Variabel penelitian dan kombinasi tiap variabel dapat dijelaskan pada **Tabel 3.1**:

Tabel 3.1 Variabel penelitian dari kombinasi suhu dan *activator agent*

Faktor I (Suhu Karbonisasi)	Faktor II (Jenis Activator)
400°C	ZnCl ₂
600°C.	CaCl ₂
	CH ₃ COOH
	Tanpa Aktivasi (Kontrol)

Berdasarkan 2 faktor di atas yaitu suhu karbonisasi dan jenis aktivator, maka diperoleh 6 perlakuan, dilakukan 3 kali pengulangan sehingga akan didapatkan 18 perlakuan dengan 6 sampel kontrol yang dijelaskan pada **Tabel 3.2** sebagai berikut:

Tabel 3.2 Kombinasi Perlakuan Suhu Karbonisasi dengan Jenis *Activator agent*

T (Suhu)	A (Activator Agent)	A ₁ (ZnCl ₂)	A ₂ (CaCl ₂)	A ₃ (CH ₃ COOH)	A ₀ Kontrol (Tanpa Aktivasi)
T ₁	400°C	T ₁ A ₁	T ₁ A ₂	T ₁ A ₃	T ₁ A ₀
T ₂	600°C	T ₂ A ₁	T ₂ A ₂	T ₂ A ₃	T ₂ A ₀

Keterangan:

- T₁ = kontrol tanpa aktivasi dengan suhu karbonisasi 400°C
- T₂ = kontrol tanpa aktivasi dengan suhu karbonisasi 600°C
- T₁A₁ = suhu karbonisasi 400°C dengan *activator agent* ZnCl₂ 10% (b/v)
- T₁A₂ = suhu karbonisasi 400°C dengan *activator agent* CaCl₂ 10% (b/v)

- T_1A_3 = suhu karbonisasi 400°C dengan *activator agent* CH_3COOH 10% (v/v)
- T_2A_1 = suhu karbonisasi 600°C dengan *activator agent* ZnCl_2 10% (b/v)
- T_2A_2 = suhu karbonisasi 600°C dengan *activator agent* CaCl_2 10% (b/v)
- T_2A_3 = suhu karbonisasi 600°C dengan *activator agent* CH_3COOH 10% (v/v)

Kombinasi perlakuan dari variabel suhu karbonisasi dan jenis aktivator diatas dilakukan uji berdasarkan kadar air, daya serap larutan iodin dan perhitungan luas permukaan karbon aktif, dari analisa uji tersebut akan didapatkan hasil terbaik yang akan dilakukan pencitraan morfologi dan komposisi penyusun karbon aktif melalui pengamatan SEM-EDX.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Preparasi Sampel

Pada penelitian ini bahan utama berupa tempurung kemiri yang merupakan limbah padat di Flores, Nusa Tenggara Timur. Pada proses preparasi bahan, bahan baku yaitu tempurung kemiri dikumpulkan dan diambil secara acak kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari langsung. Kemudian bahan baku tempurung kemiri ditumbuk hingga ukurannya menjadi lebih kecil kira-kira berukuran 1-3 cm. Hasil preparasi dilanjutkan dengan proses pembuatan karbon aktif dengan metode menurut Lempang (2014) dehidrasi, karbonisasi dan aktivasi.

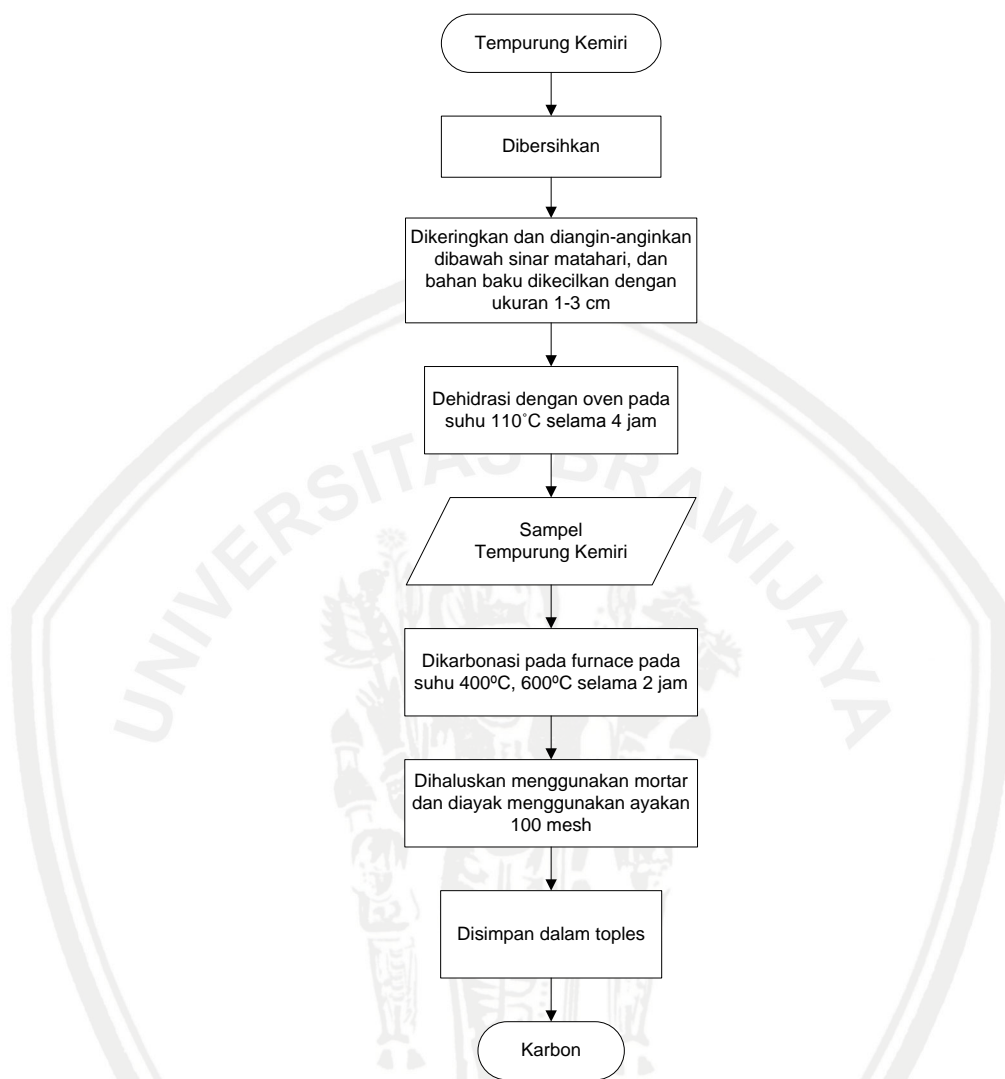
3.4.2 Tahapan Dehidrasi

Proses penguapan kandungan air pada sampel tempurung kemiri atau dehidrasi, melalui pemanasan dengan oven pada hasil preparasi sampel dengan menggunakan suhu 110°C selama 4 jam. Maka hasil sampel dehidrasi dilanjutkan ke tahapan selanjutnya yaitu tahap karbonisasi.

3.4.3 Tahapan Karbonisasi

Sampel tempurung kemiri yang telah melalui proses dehidrasi dilanjutkan ke tahap karbonisasi dengan menggunakan alat furnace. Pada proses karbonisasi ini menggunakan perlakuan suhu karbonisasi yaitu 400°C dan 600°C yang dilakukan selama 2 jam. Selanjutnya didinginkan pada suhu ruang yang disimpan dalam plastik klip untuk menjaga bahan dalam keadaan kering. Selanjutnya bahan dihaluskan menggunakan mortar hingga ukuran 100 mesh yang dilakukan proses

pengayakan untuk mendapatkan ukuran yang seragam. Proses preparasi sampel hingga didapatkan karbon dengan ukuran seragam sesuai dengan diagram alir pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Alur Proses Pembuatan Karbon

3.4.4 Tahapan Aktivasi

- **Pembuatan Larutan *Activator agent* ZnCl_2**

Pembuatan larutan ZnCl_2 10% (b/v) dapat dilakukan berdasarkan Persamaan (3.1) dimana dalam membuat larutan ZnCl_2 10% (b/v) dibutuhkan kristal padatan ZnCl_2 sebanyak 10 gram ditambahkan dengan pelarut akuades hingga volume total mencapai 100 ml.

$$\% \left(\frac{b}{v} \right) = \text{massa} \frac{\text{ZnCl}_2}{100} \text{ ml} \times 100\% \quad (3.1)$$

- **Pembuatan Larutan *Activator agent* CaCl_2**

Pembuatan larutan CaCl_2 10% (b/v) dapat dilakukan berdasarkan Persamaan (3.2) dimana dalam membuat larutan CaCl_2 10% (b/v) dibutuhkan kristal padatan CaCl_2 sebanyak 10 gram ditambahkan dengan pelarut akuades hingga volume total mencapai 100 ml.

$$\% \left(\frac{b}{v} \right) = \text{massa} \frac{\text{CaCl}_2}{100} \times 100\% \quad (3.2)$$

- **Pembuatan Larutan *Activator agent* CH_3COOH**

Pembuatan larutan CH_3COOH 10% (v/v) dapat dilakukan berdasarkan Persamaan (3.3) dimana dalam membuat larutan CH_3COOH 10% (v/v) dibutuhkan volume CH_3COOH sebanyak 60 ml ditambahkan dengan pelarut akuades hingga volume total mencapai 100 ml.

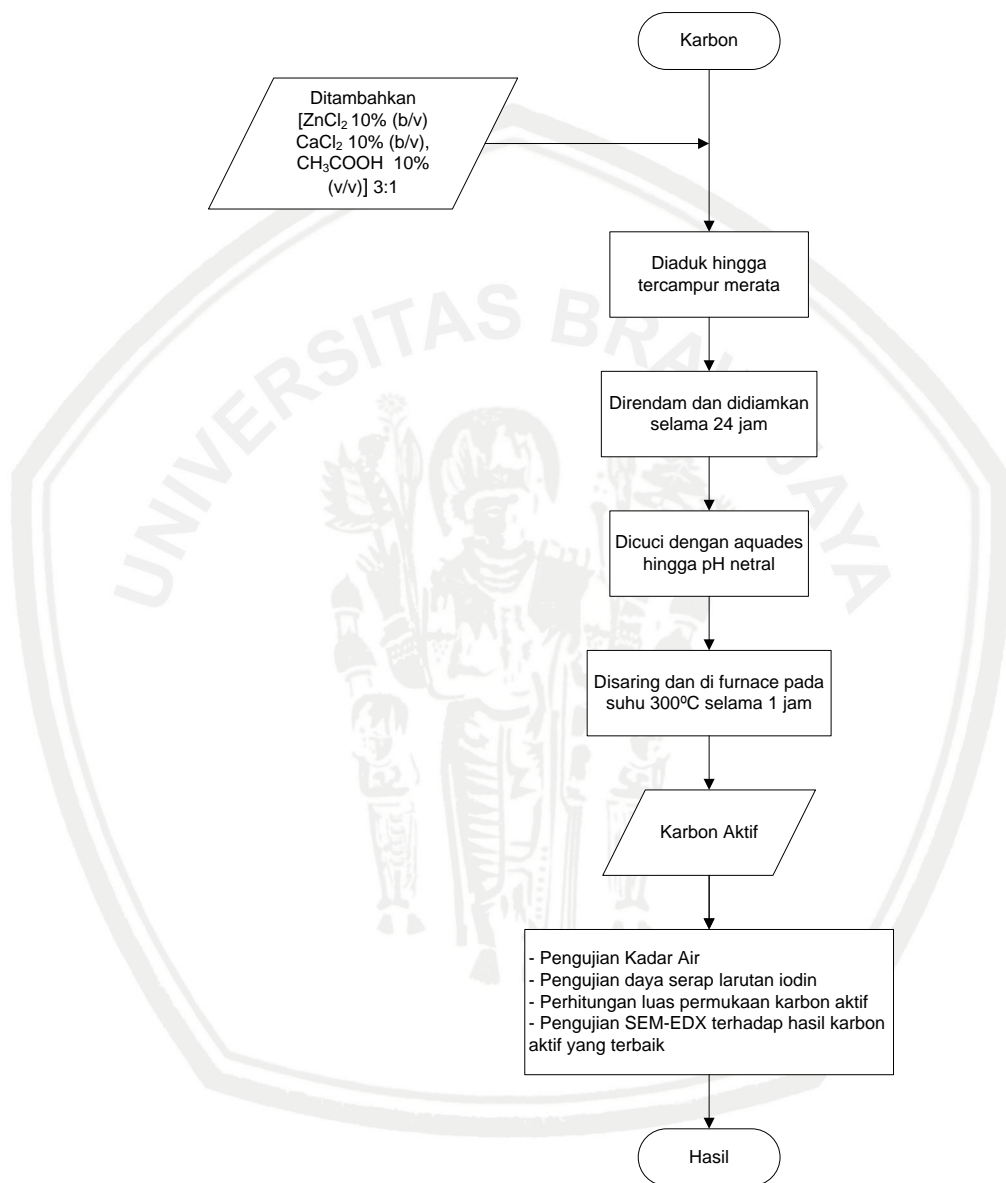
$$V1 \cdot M1 = V2 \cdot M2 \dots \dots \dots (3.3)$$

- **Pencampuran Larutan *Activator agent* dengan Karbon**

Dalam proses pencampuran larutan *activator agent* dengan karbon yang belum teraktifkan, maka proses pengaktifan pada penelitian ini menggunakan aktivasi secara kimia yang menggunakan *activator agent* larutan ZnCl_2 10% (b/v), CaCl_2 10% (b/v) dan CH_3COOH 10% (v/v). Perbandingan rasio massa larutan *activator agent* dengan massa karbon sebesar 3 : 1. Dan dengan perbandingan massa tersebut kemudian dilakukan proses pencampuran dengan cara pengadukan serbuk karbon dan *activator agent*, setelah proses pengadukan kemudian didiamkan selama 24 jam pada suhu kamar. Setelah didiamkan selama 1 hari diperoleh karbon hasil pencampuran dengan *activator agent* yang berbentuk *slurry*. Selanjutnya dilakukan proses penyaringan menggunakan kertas saring.

Karbon aktif berbentuk *slurry* tersebut kemudian dicuci dengan akuades hingga pH dari karbon hasil penyaringan tersebut netral dan berguna untuk menghilangkan sisi kotoran. Kemudian

sampel karbon aktif dikeringkan menggunakan furnace dengan suhu 300°C selama 1 jam. Sampel karbon aktif tersebut disimpan didalam desikator yang bertujuan agar karbon aktif tetap dalam keadaan kering. Diagram alir proses aktivasi dan pengujian adsorben karbon aktif sesuai pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Proses Aktivasi dan Pengujian Adsorben Karbon Aktif Tempurung Kemiri

3.5 Pengamatan dan Analisis Data

3.5.1 Parameter Pengamatan

Pada penelitian karakteristik karbon aktif dari tempurung kemiri (*aleurites moluccana*) sebagai adsorben dengan variasi suhu karbonisasi

dan jenis *aktivator agent* menggunakan parameter pengujian meliputi hasil kadar air, dan daya serap larutan iodin sesuai dengan standar SNI: 06-3730-1995 dan nilai hasil perhitungan luas permukaan karbon aktif dari karbon aktif tempurung kemiri yang diperoleh. Prosedur pengujian sesuai dengan pengujian pada masing-masing parameter pengujian. Dari hasil pengujian didapatkan hasil yang terbaik dari kombinasi karbon aktif tempurung kemiri dengan *aktivator agent* ZnCl_2 , CaCl_2 dan CH_3COOH yang berdasarkan pada pengujian kadar air, daya serap larutan iodin dan nilai hasil perhitungan luas permukaan karbon aktif tersebut akan dilakukan pencitraan komponen penyusun karbon aktif tempurung kemiri melalui pengamatan SEM-EDX.

Prosedur dari pengujian tersebut dapat dilihat sebagai berikut:

- Penentuan Kadar Air

Penentuan kadar air ditentukan dengan cara pengeringan di dalam oven.

1. Sampel karbon aktif dalam masing-masing perlakuan ditimbang sebanyak 2 gram
2. Kemudian ditempatkan dalam cawan yang telah diketahui massanya
3. Dipanaskan di dalam oven pada suhu 105°C selama 4 jam
4. Cawan dan karbon aktif didinginkan dalam desikator selama 15 menit sebelum ditimbang
5. Ditimbang masa akhir sampel
6. Proses pemanasan dalam oven diulang hingga diperoleh bobot konstan
7. Dihitung nilai kadar air dengan Persamaan 3.4 sebagai berikut:

$$\% \text{Kadar air} = \frac{a - b}{a} \times 100\% \quad (3.4)$$

- Pengujian Daya Serap Larutan Iodin SNI: 06-3730-1995

Penentuan nilai daya serap larutan iodin dilakukan sesuai dengan tahapan sebagai berikut:

1. Ditimbang 0,25 gram sampel karbon aktif lalu dimasukkan ke dalam erlemeyer

2. Ditambahkan 25 ml larutan iodin standar 0,1N, pembuatan larutan dapat dilihat pada **Lampiran 1.1**.
3. Campuran diaduk selama 15 menit. Setelah itu, dilakukan penyaringan
4. Kemudian sebanyak 10 ml filtrat dimasukkan ke dalam erlemeyer lain
5. Filtrat dititrasi dengan natrium tiosulfat 0,1 N hingga menjadi berwarna kuning pucat, pembuatan larutan Natrium Tiosulfat dapat dilihat pada **Lampiran 1.2** dan dibakukan dengan larutan $K_2Cr_2O_7$ dapat dilihat di **Lampiran 1.3**.
6. Lalu ditambahkan indikator larutan amilum 1% ke dalamnya dan teruskan titrasi hingga filtrat menjadi bening
7. Dicatat jumlah larutan peniter yang terpakai. Data yang diperoleh dihitung dengan Persamaan 3.5 berikut:

$$IAN = \frac{25}{10} \left(\frac{\text{volume blanko Tio} \times \text{volume titrasi Tio} \times 126,93 \times N \text{ Tio}}{\text{Berat karbon aktif (W)}} \right) \quad (3.5)$$

- Perhitungan Luas Permukaan Karbon Aktif (Rachmani dan Subandriyo, 2014)

Perhitungan luas permukaan karbon aktif untuk menyelidiki luas permukaan pori dari karbon aktif yang dihasilkan. Pada hasil penelitian Wang (2008) dalam Rachmani dan Subandriyo (2014) menunjukkan bahwa luas permukaan karbon aktif yang dikarakterisasi menggunakan BET dan bilangan iod tidak jauh berbeda, sehingga metode bilangan iod yang dilakukan Wang dapat menggunakan Persamaan 3.6 sebagai berikut:

$$\text{Luas Permukaan} \left(\frac{m^2}{g} \right) = \frac{\text{Bilangan Iod (IAN)}}{538,9} \times 594,3 \quad (3.6)$$

3.5.2 Analisis Data

Pada penelitian ini, diperoleh data yang berdasarkan Rancang Acak Kelompok (RAK) yang akan dilakukan analisis menggunakan ANOVA (*analysis of variances*). Hasil pengujian tersebut apabila didapatkan berpengaruh atau berbeda nyata akan diuji lanjut dengan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) sebesar 1%. Kemudian berdasarkan hasil

dari kombinasi suhu dan jenis *activator agent* terbaik dengan menggunakan metode *Multiple Attribute* akan ditentukan kualitas dan karakteristik dari adsorben karbon aktif tempurung kemiri melalui pengamatan SEM-EDX.



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

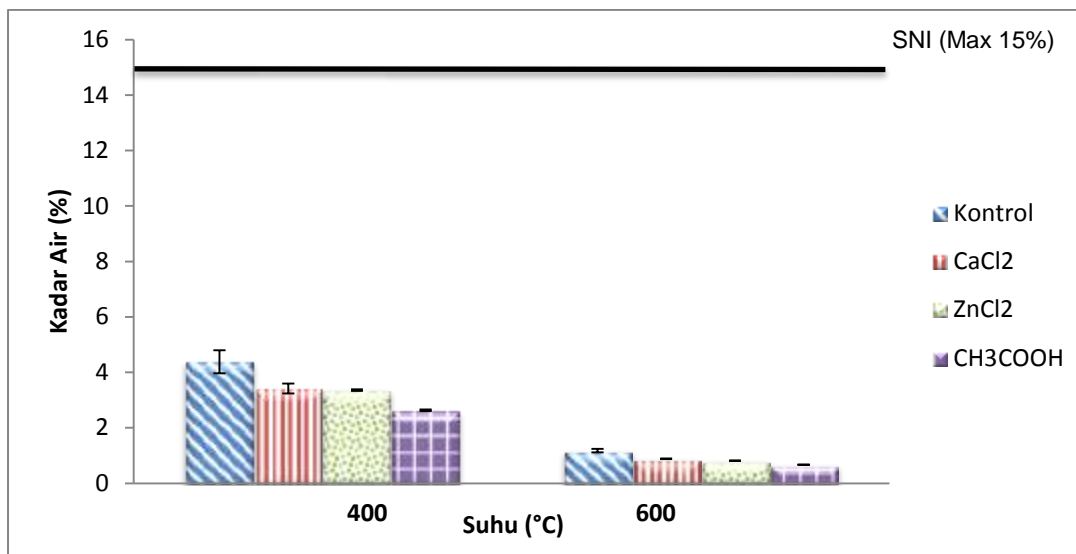
4.1 Kadar Air Karbon Aktif Tempurung Kemiri

Pengujian kadar air terhadap karbon aktif yaitu untuk mengetahui kandungan kadar air pada karbon aktif tersebut, dimana kadar air karbon aktif akan mempengaruhi daya serap dari suatu karbon aktif. Penurunan kadar air sangat erat hubungannya dengan temperatur. Penelitian karbon aktif dari tempurung kemiri ini memiliki kadar air bahan baku sebesar 8,550%. Berdasarkan hasil pengukuran kadar air karbon aktif dari penelitian ini diperoleh dari penggunaan 2 suhu karbonisasi sebesar 400°C dan 600°C serta 3 jenis *activator agent* berupa ZnCl₂, CaCl₂, dan CH₃COOH dan juga karbon tanpa aktivasi kimia didapatkan rentang kadar air sebesar 0,666 – 4,382%. Data hasil penelitian kadar air ini dapat disajikan dalam **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian Kadar Air Karbon Aktif Tempurung Kemiri

Perlakuan	Kadar Air (%)			Rata-rata	Standar Deviasi
	I	II	III		
Kontrol 400°C	4,117	4,165	4,865	4,382	±0,419
Kontrol 600°C	1,120	1,240	1,179	1,180	±0,060
ZnCl ₂ 400°C	3,392	3,361	3,324	3,359	±0,034
ZnCl ₂ 600°C	0,820	0,799	0,819	0,813	±0,012
CaCl ₂ 400°C	3,542	3,494	3,214	3,416	±0,177
CaCl ₂ 600°C	0,890	0,880	0,870	0,880	±0,010
CH ₃ COOH 400°C	2,665	2,608	2,617	2,630	±0,031
CH ₃ COOH 600°C	0,660	0,670	0,670	0,666	±0,006

Dari **Tabel 4.1** kadar air karbon aktif terendah diperoleh pada perlakuan suhu karbonisasi 600°C dengan aktivasi menggunakan larutan asam asetat (CH₃COOH) sebesar 0,666% dengan nilai standar deviasi sebesar ±0,006 dan kadar air tertinggi diperoleh pada suhu 400°C tanpa proses aktivasi kimia sebesar 4,382% dengan standar deviasi sebesar ±0,419. Pada penelitian ini penentuan kadar air bertujuan untuk mengetahui kandungan air yang terdapat dalam karbon aktif tempurung kemiri setelah melalui proses karbonisasi dengan suhu 400°C dan 600°C serta proses aktivasi secara kimia menggunakan *activator agent* berupa ZnCl₂, CaCl₂, dan CH₃COOH serta pada karbon aktif tanpa proses aktivasi. Hasil karakteristik kadar air terhadap variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent* dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1 Hasil karakteristik kadar air terhadap variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent*

Hasil penelitian pada **Gambar 4.1** dapat dilihat bahwa pembuatan karbon aktif dengan menggunakan suhu 400°C dan 600°C menggunakan *activator agent* berupa larutan seng klorida, kalsium klorida dan asam asetat serta tanpa menggunakan aktivasi secara kimia menunjukkan kualitas karbon aktif yang dihasilkan dalam penelitian ini cukup baik. Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan dan digambarkan pada **Gambar 4.1** menunjukkan bahwa hubungan suhu karbonisasi terhadap kadar air karbon aktif. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa suhu karbonisasi yaitu 400°C dan 600°C memiliki pengaruh terhadap nilai kadar air, dimana semakin tinggi suhu karbonisasi menghasilkan kadar air yang rendah. Data hasil penelitian menunjukkan bahwa pada suhu 400°C dan 600°C tanpa dilakukan proses aktivasi atau kontrol menghasilkan kadar air yang semakin menurun yaitu sebesar 4,382 % dan 1,178 %. Pada perlakuan karbon aktif yang diaktivasi menggunakan larutan kalsium klorida kadar air yang menurun juga seiring bertambahnya suhu karbonisasi yaitu kadar air sebesar 3,416 % untuk suhu karbonisasi 400°C dan 0,880 % yang dikarbonisasi menggunakan suhu 600°C. Pada perlakuan jenis aktivator larutan seng klorida diperoleh kadar air masing-masing sebesar 3,359 % dan 0,813 % dengan grafik yang menurun pada suhu karbonisasi 400°C dan 600°C. Perlakuan jenis aktivator selanjutnya menggunakan larutan asam asetat diperoleh kadar air pada masing-

masing suhu yaitu sebesar 2,630 % dan 0,666 % dengan grafik yang menurun pada suhu karbonisasi 400°C dan 600°C.

Dimana kadar air mempengaruhi adsorpsi, semakin rendah kadar air akan menghasilkan daya serap atau adsorpsi yang tinggi, karena molekul air tidak memenuhi pori-pori karbon aktif yang ada. Daya serap dapat dilakukan dengan salah satunya yaitu daya serap iodin. Sehingga hasil penelitian pada penelitian ini didapatkan kadar air terbaik pada karbon aktif yang dibuat dengan suhu karbonisasi 600°C dan diaktivasi menggunakan larutan asam asetat yaitu sebesar 0,666% serta terbukti pada karbon aktif yang diaktivasi menggunakan asam asetat menghasilkan daya serap iodin tertinggi yaitu sebesar 629,905 m²/g .

Kadar air dipengaruhi oleh suhu karbonisasi, suhu karbonisasi yang digunakan yaitu 600°C merupakan perlakuan terbaik dari penelitian ini. Dimana suhu karbonisasi semakin tinggi menyebabkan nilai kadar air yang terkandung didalam bahan semakin rendah. Secara reaksi kimia H₂O mengalami perubahan fase menjadi gas pada saat mencapai titik didihnya yaitu pada suhu 100°C. Pada titik ini H₂O bebas terikat dengan karbon dan membentuk fase gas, sehingga tempurung kemiri yang dikarbonisasi memiliki kadar air yang rendah. Semakin tinggi temperatur pengeringan maka semakin sedikit kadar air yang terkandung dalam arang aktif sehingga dapat menghasilkan pori yang semakin besar. Semakin besar pori-pori maka luas permukaan karbon aktif semakin bertambah. Sehingga mengakibatkan meningkatnya kemampuan adsorpsi dari karbon aktif. Dengan meningkatnya kemampuan adsorpsi dari karbon aktif maka semakin baik kualitas dari karbon aktif tersebut. Kadar air yang terkandung dalam karbon aktif tempurung kemiri ini sesuai dengan persyaratan menurut SNI 06-3703-1995 yaitu maksimum 15%.

4.1.1 Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi terhadap Kadar Air

Dilakukan analisa ANOVA untuk variasi suhu karbonisasi terhadap kadar air diperoleh bahwa faktor perbedaan suhu karbonisasi terhadap karbon aktif berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air karena memiliki nilai F hitung sebesar 1329,022 lebih besar dibandingkan dengan nilai F tabel 1% sebesar 8,86. Nilai rerata kadar air dan notasi uji DMRT (*Duncan*

Multiple Range Test) dengan tingkat kepercayaan sebesar 1% akibat suhu karbonisasi tersebut disajikan dalam **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Hasil Uji DMRT kadar air berdasarkan suhu karbonisasi

Perlakuan	Rerata	Notasi 1%
600 °C	0,885	a
400 °C	3,447	b

Berdasarkan **Tabel 4.2** menunjukkan bahwa faktor suhu karbonisasi memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap karbon aktif yang dihasilkan. Pada semua perlakuan dengan aktivator dan tanpa aktivator dengan suhu karbonisasi 400°C dan 600°C terjadi peningkatan hasil kadar air yang spesifik berdasarkan suhu karbonisasi. Hasil uji DMRT kadar air yang dihasilkan berdasarkan suhu karbonisasi diperoleh pada temperatur 600°C menghasilkan rerata 0,885 dan temperatur 400°C menghasilkan rerata 3,447. Pada **Gambar 4.1** dapat dilihat bahwa pada arang aktif yang diberi perlakuan dengan perbedaan jenis aktivator berupa tanpa aktivasi atau kontrol, seng klorida, kalsium klorida dan asam asetat menghasilkan kadar air yang semakin menurun seiring bertambahnya suhu karbonisasi. Penurunan kadar air ini disebabkan permukaan karbon aktif lebih sedikit mengandung gugus fungsi yang bersifat polar sehingga interaksi antara uap air yang bersifat polar juga sedikit (Pari, 2008). Kadar air diasumsikan bahwa hanya air yang merupakan senyawa volatil, karena dimungkinkan masih adanya air yang terjebak dalam rongga dan menutupi pori karbon aktif. Semakin rendah kadar air menunjukkan sedikitnya air yang tertinggal dan menutupi pori karbon aktif. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya suhu karbonisasi maka semakin sedikit kadar air yang terkandung dalam arang aktif sehingga dapat menghasilkan pori yang semakin besar. Semakin besar pori-pori maka luas permukaan karbon aktif semakin bertambah, maka mengakibatkan meningkatnya kemampuan adsorpsi dari karbon aktif. Dengan meningkatnya kemampuan adsorpsi dari karbon aktif maka semakin baik kualitas dari karbon aktif tersebut. Sehingga pengaruh perlakuan berupa suhu karbonisasi sebesar 400°C dan 600°C memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap kadar air yang dihasilkan oleh tiap karbon aktif. Hasil kadar air karbon aktif tempurung kemiri pada penelitian ini menunjukkan kadar air semakin rendah dengan

meningkatnya suhu karbonisasi. Hasil penelitian ini dimana semakin rendah nilai kadar air maka akan menghasilkan daya serap iodine yang tinggi dan luas permukaan pori karbon aktif yang luas, hal ini terdapat sesuai dengan data penelitian yang didapatkan yaitu pada karbon aktif yang diaktivasi menggunakan larutan asam asetat dengan suhu 600°C.

Pada hasil penelitian ini sesuai dengan Lempang (2009) yang mengatakan bahwa kadar air arang aktif yang dikehendaki harus bernilai sekecil-kecilnya karena akan mempengaruhi daya serapnya terhadap gas atau cairan. Kadar air yang terkandung dalam arang aktif dipengaruhi oleh jumlah uap air di udara, lama proses pendinginan, penggilingan dan pengayakan. Dan dapat diketahui bahwa faktor aktivator, waktu, suhu, maupun interaksi aktivator-suhu dan waktu-suhu memberi pengaruh nyata terhadap kadar air arang aktif. Demikian juga dengan pengaruh suhu terhadap kadar air, semakin tinggi suhu aktivasi semakin rendah kadar air arang aktif. Penelitian karbon aktif dari tempurung kemiri ini memiliki kadar air bahan baku sebesar 8,550%. Dan dilakukan proses pembuatan karbon aktif kadar air yang dihasilkan berkisar 0,666 – 4,382 % dengan suhu karbonisasi yaitu 400°C dan 600°C. Kadar air arang aktif ini jauh lebih rendah bila dibandingkan dengan kadar arang aktif yang dilakukan pada penelitian Laos (2016) yang mendapatkan kadar air karbon aktif maksimal terdapat pada karbon aktif yang disintesis pada suhu 400°C yaitu sebesar 14,35%, sedangkan kadar air minimal berdasarkan penelitian tersebut yaitu sebesar 4,15% yang disintesis dengan suhu 200°C menggunakan bahan baku berupa tempurung kemiri.

4.1.2 Pengaruh Variasi Jenis *Activator agent* terhadap Kadar Air

Pada **Tabel 4.1** rerata nilai kadar air berdasarkan kombinasi faktor variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent* menunjukkan bahwa setiap perlakuan yaitu berupa tanpa proses aktivasi, penambahan larutan aktivator kalsium klorida, seng klorida dan asam asetat pada suhu karbonisasi 400°C diperoleh kadar air masing-masing sebesar 4,382%, 3,416%, 3,359% dan 2,630%. Pada suhu karbonisasi 600°C diperoleh hasil kadar air pada masing-masing perlakuan sebesar 1,180%, 0,880%, 0,813%, dan 0,666%. Dari data hasil rerata penelitian ini dilakukan analisa ANOVA untuk faktor variasi jenis *activator agent* terhadap kadar

air. Analisa ANOVA yang dihasilkan yaitu jenis *activator agent* berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air dengan nilai F hitung sebesar 44,080 yang nilai ini lebih besar dibandingkan dengan nilai F tabel 1% yaitu sebesar 5,56. Nilai rerata kadar air dan notasi uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) dengan tingkat kepercayaan sebesar 1% akibat pelakuan jenis *activator agent* tersebut disajikan dalam **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Hasil Uji DMRT nilai kadar air berdasarkan jenis *activator agent*

Perlakuan	Rerata	Notasi
CH ₃ COOH	1,648	a
ZnCl ₂	2,086	b
CaCl ₂	2,148	bc
Kontrol	2,781	d

Berdasarkan **Tabel 4.3** diatas menunjukan bahwa faktor jenis *activator agent* memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap karbon aktif yang dihasilkan yaitu berupa karbon tanpa perlakuan aktivasi kimia dan penambahan larutan aktivator lainnya yaitu berupa kalsium klorida, seng klorida dan asam asetat. Pada semua perlakuan dengan aktivator dan tanpa aktivator didapatkan nilai kadar air menurun spesifik berdasarkan jenis *activator agent* yang digunakan. Hasil kadar air yang dihasilkan berdasarkan jenis *activator agent* diperoleh urutan dari nilai kadar air terkecil hingga terbesar yaitu sebagai berikut perlakuan penambahan larutan asam asetat yaitu sebesar 1,648%, seng klorida sebesar 2,086%, kalsium diklorida sebesar 2,148%, dan tanpa aktivator sebesar 2,781%. Namun pada hasil analisa uji Duncan didapatkan nilai kadar air menurun spesifik berdasarkan jenis *activator agent* yang digunakan. Dimana semakin rendah derajat keasaman nilai kadar air yang dihasilkan juga semakin rendah. Terlihat pada **Tabel 4.3** yang mana karbon aktif yang diaktivasi menggunakan asam asetat yang memiliki pH rendah menghasilkan nilai kadar air rendah juga. Beda halnya dengan seng kloridan dan kalsium klorida yang memiliki pH netral menghasilkan nilai kadar air yang tidak jauh berbeda. Menurut Trilaksana (2017) ion H⁺ dari larutan CH₃COOH berdifusi ke dalam lapisan karbon yang menyebabkan rekahan pada permukaan karbon sehingga mengakibatkan rongga terbuka dan pori-pori terbentuk. Sehingga rekahan ini yang membuat atom air yang telah diikat dengan aktivator keluar dari sampel. Beda halnya dengan karbon aktif yang diaktivasi dengan CaCl₂,

merupakan aktivator bersifat garam, kandungan air yang terdapat didalam karbon aktif berinteraksi dengan CaCl_2 sehingga kandungan air masuk kedalam karbon aktif maka kandungan air yang terdapat didalam karbon aktif yang telah diaktivasi dengan CaCl_2 sukar untuk dihilangkan.

Hasil kadar air karbon aktif terhadap jenis *activator agent* pada penelitian ini menggunakan bahan baku berupa tempurung kemiri menghasilkan kadar air terbaik pada karbon yang diaktivasi menggunakan larutan asam asetat pada suhu 600°C . Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif yang diaktivasi secara kimia menggunakan jenis *activator agent* memberikan pengaruh terdapat kadar air yang dihasilkan oleh karbon aktif tempurung kemiri. Hal ini sesuai dengan pendapat Lempang (2009) pada interaksi faktor aktivator-suhu menunjukkan bahwa ada kecenderungan faktor aktivator lebih besar. Dan menurut Laos (2016) penurunan kadar air sangat erat hubungannya dengan sifat higroskopis dari jenis aktivator, dimana arang aktif mempunyai sifat afinitas yang besar terhadap air. Sifat yang sangat higroskopis inilah yang menyebabkan arang aktif digunakan sebagai adsorben. Terikatnya molekul air yang ada pada karbon aktif oleh aktivator menyebabkan pori-pori pada karbon aktif semakin besar. Semakin besar pori-pori maka luas permukaan karbon aktif semakin bertambah. Hal ini mengakibatkan meningkatnya kemampuan adsorpsi dari karbon aktif.

4.1.3 Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi dan Jenis *Activator agent* terhadap Kadar Air

Setelah didapatkan hasil penelitian dilakukan analisa data dengan menggunakan uji ANOVA. Hasil analisa ANOVA pada **Lampiran 3.1** yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh kombinasi faktor variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent* terhadap kadar air yang dihasilkan dari karbon aktif tempurung kemiri. Diperoleh hasil analisa ANOVA berpengaruh sangat nyata pada faktor kombinasi variasi suhu karbonisasi dan *activator agent* terhadap kadar air karena nilai F hitung yang dihasilkan yaitu sebesar 12,932 lebih besar dibandingkan dengan nilai F tabel 1% sebesar 5,56. Nilai rerata kadar air dan notasi hasil uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) dengan tingkat kepercayaan sebesar 1%

dapat disajikan pada **Tabel 4.4** yang menunjukkan bahwa 2 faktor yaitu suhu karbonisasi dan jenis *activator agent* memberi pengaruh nyata pada kadar air.

Tabel 4.4 Rerata nilai kadar air berdasarkan kombinasi faktor variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent*

Perlakuan	Rerata (%)	Notasi
CH ₃ COOH 600°C	0,666	a
ZnCl ₂ 600°C	0,813	ab
CaCl ₂ 600°C	0,880	ab
Kontrol 600°C	1,180	b
CH ₃ COOH 400°C	2,630	e
ZnCl ₂ 400°C	3,359	f
CaCl ₂ 400°C	3,416	fg
Kontrol 400°C	4,382	h

Berdasarkan **Tabel 4.4** diatas menunjukkan bahwa faktor variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent* memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap kadar air karbon aktif yang dihasilkan. Hasil kadar air yang dihasilkan berdasarkan variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent* diperoleh nilai kadar air terendah yaitu pada karbon aktif yang diaktivasi menggunakan larutan CH₃COOH dengan suhu karbonisasi 600°C yaitu sebesar 0,666% dan kadar air tertinggi pada perlakuan kontrol pada suhu karbonisasi 400°C yaitu sebesar 4,382%. Namun pada hasil analisa uji Duncan didapatkan nilai kadar air menurun spesifik berdasarkan jenis *activator agent* yang digunakan. Pada semua perlakuan dengan aktivator dan tanpa aktivator dengan suhu karbonisasi 400°C dan 600°C didapatkan nilai kadar air menurun spesifik berdasarkan jenis *activator agent* dan suhu karbonisasi yang digunakan. Dimana semakin rendah derajat keasaman (pH) *activator agent* dan semakin tinggi suhu karbonisasi, sehingga menghasilkan karbon aktif yang memiliki kadar air rendah, daya serap iodin tinggi dan luas permukaan pori karbon aktif yang besar. Pada penelitian ini terdapat pada karbon aktif yang diaktivasi menggunakan larutan asam asetat dan suhu karbonisasi sebesar 600°C. Dengan nilai kadar air sebesar 0,666%, daya serap iodin yaitu sebesar 629,905 mg/g dan luas permukaan pori sebesar 694,661 m²/g.

4.2 Daya Serap Larutan Iodin Karbon Aktif Tempurung Kemiri

Pengujian daya serap iodin ini terhadap karbon aktif yaitu untuk melihat seberapa besar daya adsorben pada karbon aktif tersebut, dimana daya serap karbon aktif terhadap larutan iodin ini untuk mengindikasikan kemampuan karbon aktif untuk mengadsorpsi suatu komponen yang terkandung dalam larutan iodin. Daya serap karbon aktif terhadap larutan iodin mengindikasikan kemampuan arang aktif untuk mengadsorpsi komponen dengan berat molekul rendah. Sama halnya menurut Sahara, *et al* (2017) daya serap terhadap iodin ditentukan dengan tujuan mengetahui kemampuan adsorpsi dari adsorben yang dihasilkan terhadap larutan berbau. Menurut Idrus, *et al* (2013) daya adsorpsi karbon aktif terhadap iodin memiliki korelasi dengan luas permukaan dari karbon aktif. Semakin besar angka iodin maka semakin besar kemampuannya dalam mengadsorpsi adsorbat atau zat terlarut. Dan berbanding lurus dengan luas permukaan dimana semakin besar daya serap iodin maka luas permukaan karbon aktif juga semakin luas. Menurut Previanti, *et al* (2015) tinggi rendahnya daya serap arang aktif terhadap larutan iodin menunjukkan jumlah mikropori yang terbentuk pada arang aktif. Semakin tinggi daya serap iodin maka semakin banyak mikropori yang terbentuk pada arang aktif.

Pengujian bilangan iodin atau daya serap iodin dapat dilakukan dengan menganalisis filtrat campuran larutan iodin dan karbon aktif. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode titrasi salah satunya titrasi iodometri. Kereaktifan dari karbon aktif dapat dilihat dari kemampuannya mengadsorpsi substrat. Penambahan larutan iodin berfungsi sebagai adsorbat yang akan diserap oleh karbon aktif sebagai adsorbennya. Terserapnya larutan iodin ditunjukkan dengan adanya pengurangan konsentrasi larutan iodin. Pengukuran konsentrasi iodin sisa dapat dilakukan dengan menitrasi larutan iodin dengan natrium triosulfat 0,1 N dan indikator yang digunakan yaitu amilum.

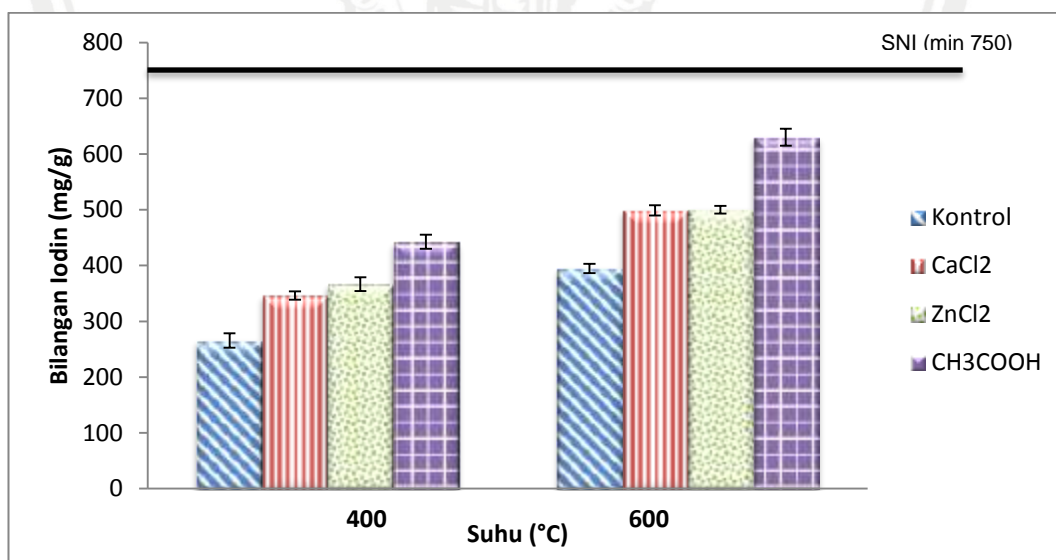
Berdasarkan hasil pengukuran bilangan iodin karbon aktif dari penelitian ini diperoleh dari penggunaan 2 suhu karbonisasi (400°C, 600°C) dan 3 jenis *activator agent* (ZnCl_2 , CaCl_2 , dan CH_3COOH) serta karbon tanpa aktivasi kimia didapatkan rentang nilai bilangan iodin

sebesar 265,671 – 629,905 mg/g. Data hasil penelitian daya serap iodine ini dapat disajikan dalam **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5. Data hasil penelitian daya serap iodine

Perlakuan	Daya Serap Iodin (mg/g)			Rata-rata	Standar Deviasi
	I	II	III		
Kontrol 400°C	277,912	252,547	266,553	265,671	±12,706
Kontrol 600°C	404,236	389,279	390,670	394,728	±8,263
ZnCl ₂ 400°C	353,847	366,923	378,519	366,430	±12,343
ZnCl ₂ 600°C	500,908	492,858	506,909	500,225	±7,050
CaCl ₂ 400°C	341,618	342,027	354,836	346,160	±7,516
CaCl ₂ 600°C	502,693	488,771	506,100	499,188	±9,181
CH ₃ COOH 400°C	442,838	455,127	429,843	442,603	±12,644
CH ₃ COOH 600°C	614,825	629,613	645,278	629,905	±15,229

Dilihat dari **Tabel 4.5** daya serap iodine karbon aktif tertinggi diperoleh pada perlakuan suhu karbonisasi 600°C dengan aktivasi menggunakan larutan asam asetat (CH₃COOH) sebesar 629,905 mg/g dengan standar deviasi sebesar ±15,229 dan daya serap iodine terendah diperoleh pada suhu 400°C tanpa proses aktivasi kimia sebesar 265,671 mg/g dengan standar deviasi sebesar ±12,706. Hasil karakteristik daya serap iodine terhadap variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent* pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4.2 Hasil karakteristik daya serap iodine terhadap variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent*

Hasil penelitian pada **Gambar 4.2** diatas dapat dilihat bahwa pembuatan karbon aktif dengan menggunakan suhu 400°C dan 600°C menggunakan *activator agent* berupa larutan seng klorida, kalsium klorida dan asam asetat serta tanpa menggunakan aktivasi secara kimia menghasilkan daya serap iodin yang belum memenuhi standar SNI 06-3730-1995 yang mana nilai daya serap iodin menurut SNI 06-3730-1995 yaitu sebesar 750 mg/g. Rendahnya nilai daya serap iodin ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor yang dapat mempengaruhi dalam proses pembuatan karbon aktif diantaranya perbedaan bahan baku, waktu dan suhu karbonisasi, cara aktivasi karbon, serta besarnya konsentrasi aktivator yang digunakan dapat menyebabkan sifat dan mutu arang aktif berbeda pula.

Hasil penelitian pada **Gambar 4.2** dapat dilihat bahwa karbon aktif yang dibuat dengan jenis *activator agent* berupa seng klorida, kalsium klorida dan asam asetat serta karbon aktif tanpa proses aktivasi atau kontrol, didapatkan daya serap iodin semakin meningkat seiring meningkatnya suhu karbonisasi yang digunakan yaitu 400°C dan 600°C. Berdasarkan hubungan suhu karbonisasi terhadap daya serap larutan iodin, pada gambar tersebut menunjukkan bahwa suhu karbonisasi yaitu 400°C dan 600°C memiliki pengaruh terhadap nilai daya serap iodin, dimana semakin tinggi suhu karbonisasi menghasilkan daya serap iodin yang tinggi pula.

Data hasil penelitian menunjukkan bahwa pada suhu 400°C dan 600°C tanpa dilakukan proses aktivasi atau kontrol menghasilkan daya serap iodin yang semakin meningkat yaitu sebesar 265,670 mg/g dan 394,728 mg/g. Pada perlakuan karbon aktif yang diaktivasi menggunakan larutan seng klorida menghasilkan daya serap iodin yang meningkat juga seiring bertambahnya suhu karbonisasi yaitu nilai daya serap iodin sebesar 366,430 mg/g untuk suhu karbonisasi 400°C dan 500,225 mg/g yang dikarbonisasi menggunakan suhu 600°C. Pada perlakuan jenis aktivator larutan kalsium klorida diperoleh hasil bilangan iodin masing-masing sebesar 346,160 mg/g dan 499,188 mg/g dengan grafik yang meningkat pada suhu karbonisasi 400°C dan 600°C. Perlakuan jenis aktivator selanjutnya menggunakan larutan asam asetat diperoleh bilangan iodin pada masing-masing suhu yaitu sebesar 442,603 mg/g dan

629,905 mg/g dengan grafik yang meningkat pada suhu karbonisasi 400°C dan 600°C. Serta berdasarkan jenis *activator agent* yang digunakan didapatkan bahwa daya serap iodine tertinggi yaitu menggunakan larutan asam asetat dan terendah menggunakan larutan kalsium klorida.

4.2.1 Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi terhadap Daya Serap Larutan Iodin

Dilakukan analisa ANOVA untuk variasi suhu karbonisasi terhadap daya serap iodine diperoleh bahwa faktor perbedaan suhu karbonisasi terhadap karbon aktif berpengaruh sangat nyata terhadap daya serap iodine karena memiliki nilai F hitung sebesar 1133,606 lebih besar dibandingkan dengan nilai F tabel 1% sebesar 8,86. Nilai rerata bilangan iodine dan notasi uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) dengan tingkat kepercayaan sebesar 1% akibat suhu karbonisasi tersebut disajikan dalam **Tabel 4.6**.

Tabel 4.6 Hasil Uji DMRT bilangan iodine berdasarkan suhu karbonisasi

Perlakuan	Rerata	Notasi 1%
400 °C	355,216	a
600 °C	506,012	b

Berdasarkan **Tabel 4.6** menunjukkan bahwa faktor suhu karbonisasi memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap karbon aktif yang dihasilkan. Pada semua perlakuan dengan aktivator dan tanpa aktivator dengan suhu karbonisasi 400°C dan 600°C terjadi peningkatan hasil luas permukaan pori yang spesifik berdasarkan suhu karbonisasi. Hasil uji DMRT luas permukaan pori yang dihasilkan berdasarkan suhu karbonisasi diperoleh pada temperatur 400°C menghasilkan rerata 355,216 dan temperatur 600°C menghasilkan rerata 506,012. Pada **Gambar 4.2** dapat dilihat bahwa pada arang aktif yang diberi perlakuan dengan perbedaan jenis aktivator berupa tanpa aktivasi atau kontrol, kalsium klorida, seng klorida dan asam asetat menghasilkan nilai bilangan iodine yang semakin meningkat seiring bertambahnya suhu karbonisasi. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya suhu karbonisasi maka semakin banyak pori yang terbentuk. Sehingga pengaruh perlakuan

berupa suhu karbonisasi sebesar 400°C dan 600°C memberikan pengaruh yang sangat nyata terdapat bilangan iodin yang dihasilkan oleh tiap karbon aktif. Hasil bilangan iodin pada penelitian ini menunjukkan bilangan iodin semakin meningkat dengan meningkatnya suhu karbonisasi.

Pada **Gambar 4.2** dapat dilihat bahwa pada arang aktif yang diberi perlakuan dengan perbedaan jenis aktivator berupa tanpa aktivasi atau kontrol, seng klorida, kalsium klorida dan asam asetat menghasilkan nilai bilangan iodin yang semakin meningkat seiring bertambahnya suhu karbonisasi. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya suhu karbonisasi maka semakin banyak pori yang terbentuk sehingga daya serap karbon aktif juga akan meningkat. Sehingga pengaruh perlakuan berupa suhu karbonisasi sebesar 400°C dan 600°C memberikan pengaruh yang sangat nyata terdapat daya serap iodin yang dihasilkan oleh tiap karbon aktif. Hasil nilai bilangan iodin atau daya serap iodin pada penelitian ini menunjukkan nilai iodin semakin meningkat dengan meningkatnya suhu karbonisasi. Data hasil penelitian bilangan iodin terendah yaitu pada suhu karbonisasi 400°C tanpa dilakukannya aktivasi atau kontrol sebesar 265,671 mg/g sedangkan bilangan iodin tertinggi pada suhu karbonisasi 600°C yang diaktivasi menggunakan asam asetat sebesar 629,905 mg/g. Hasil penelitian ini sesuai dengan literatur yang ada yang menjelaskan bahwa suhu karbonisasi mempengaruhi daya serap iodin, yaitu menurut Laos (2016) peningkatan bilangan iodin terjadi akibat semakin banyaknya pengotor yang terlepas dari permukaan karbon aktif. Seiring dengan peningkatan suhu, pengotor-pengotor yang mulanya terdapat pada bagian pori dan menutupi pori, ikut terlepas atau teruapkan sehingga memperluas permukaan karbon aktif. Semakin besar luas permukaan karbon aktif maka semakin besar kemampuan adsorpsi karbon aktif.

Data hasil penelitian terhadap daya serap iodin yang diperoleh pada penelitian ini belum memenuhi SNI 06-3703-1995 yaitu minimal 750 mg/g. Hal ini dapat dikarenakan beberapa faktor diantaranya faktor yang dapat mempengaruhi dalam proses pembuatan karbon aktif diantaranya bahan baku yang digunakan, waktu dan suhu karbonisasi, cara aktivasi karbon, serta besarnya konsentrasi aktivator yang digunakan dapat menyebabkan sifat dan mutu arang aktif berbeda pula. Pada faktor

berupa jenis bahan baku yang digunakan, dalam pembuatan karbon aktif menggunakan bahan baku yang mengandung lignin, selulosa dan hemiselulosa yang tinggi. Pada penelitian ini menggunakan bahan baku berupa tempurung kemiri yang mengandung lignin dan holoselulosa (selulosa dan hemiselulosa) yang tinggi yaitu sebesar 54,46% dan 49,22%. Sehingga kandungan karbon pada tempurung kemiri sangat tinggi karena selulosa, hemiselulosa dan lignin merupakan senyawa organik dengan mempunyai banyak rantai karbon.

Pada penelitian ini karbon aktif yang dikarbonisasi pada temperatur 600°C memiliki rata-rata bilangan iodin yang lebih besar dari karbon aktif yang dikarbonisasi pada temperatur 400°C. Pada suhu 400°C dengan banyaknya kandungan lignin, selulosa dan hemiselulosa pada bahan baku diperkirakan belum terurai sempurna, sama halnya dengan banyaknya pengotor yang ada dibagian permukaan atau didalam karbon aktif belum terlepas atau teruapkan secara sempurna sehingga mempengaruhi luas permukaan karbon aktif. Besarnya pori salah satunya dipengaruhi oleh suhu karbonisasi dan akan mempengaruhi luas permukaan karbon aktif dan juga mempengaruhi kemampuan adsorpsi karbon aktif. Bilangan iodin belum sesuai dengan standar hal ini dapat disebabkan masih banyaknya melekat sisa-sisa tar coke (sisa-sisa senyawa hidrokarbon) sedangkan senyawa hidrokarbon ini terikat secara kimiawi sehingga sukar untuk dipisahkan secara ekstraksi dengan menggunakan pelarut.

Faktor selanjutnya yaitu suhu karbonisasi dimana suhu karbonisasi tinggi akan menghasilkan daya serap iodin yang tinggi pula. sama halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh Turmuzi, *et al.* (2015) hasil penelitian ini menunjukkan nilai iodin semakin meningkat dengan meningkatnya suhu karbonisasi serta bilangan iodin yang terbaik pada penelitian tersebut sebesar 494,91 mg/g pada suhu karbonisasi 600°C selama 1 jam, sedangkan penelitian ini pada suhu 600°C dengan larutan asam asetat menghasilkan karbon aktif dengan nilai bilangan iodin sebesar 629,9054116 mg/g. Menurut Wang, *et al.* (2010) dalam Turmuzi, *et al.* (2015) mengatakan bahwa semakin tinggi suhu dan waktu aktivasi maka semakin tinggi bilangan iodin karena makin banyak permukaan karbon yang teraktifasi. Ditambah lagi dengan adanya perlakuan aktivasi

fisika yang berfungsi untuk memperluas bidang penyerapan karbon aktif, akan mengakibatkan jumlah pori-pori yang ada pada karbon aktif akan semakin banyak sehingga daya serapnya terhadap iodin dapat semakin meningkat. Pada penelitian yang dilakukan oleh Nurdiansah dan Diah (2013) yang mengatakan bahwa semakin naik temperatur aktivasi fisika, maka nilai bilangan iodin dan luas permukaan akan semakin naik. Keadaan optimum yang didapat dari penelitian tersebut yaitu pada suhu karbonisasi sebesar 700°C dan temperatur aktivasi sebesar 600°C mendapatkan bilangan iodin atau daya serap iodin sebesar 968,828 mg/g pada tempurung kluwak. Sedangkan pada penelitian ini menggunakan aktivasi fisika, endapan karbon aktif hasil aktivasi kimia dipanaskan dengan cara hidrothermal dengan suhu 300°C selama 1 jam, menghasilkan karbon aktif dengan nilai bilangan iodin sebesar 629,905 mg/g.

Faktor lain yang mempengaruhi yaitu waktu kontak dengan larutan aktivasi, dipenelitian ini menggunakan waktu kontak selama 24 jam, dimana semakin lama waktu kontak karbon aktif dengan larutan aktivator atau waktu perendaman maka akan menghasilkan karbon aktif yang baik karena *activator agent* dapat membentuk pori dan mengangkat sisa-sisa kotoran bekas proses karbonisasi. Hal ini semua dengan penelitian yang dilakukan oleh Dewi, *et al.* (2009) yang menjelaskan bahwa semakin lama waktu aktivasi akan semakin banyak zat pengotor yang larut, sehingga banyak pori-pori yang kosong, tetapi seiring bertambahnya konsentrasi akan mempengaruhi nilai kadar air. Dimana kadar air akan semakin meningkat dikarenakan pada saat pencucian, banyak air yang diserap oleh pori-pori yang kosong tersebut. Hasil uji yang didapatkan, waktu aktifasi terbaik untuk daya serap iodin pada saat 24 jam sebesar 795,663%. Daya serap iodin semakin besar seiring bertambahnya waktu aktivasi. Hal ini disebabkan semakin lama waktu aktivasi akan menyebabkan semakin banyaknya zat pengotor yang berupa zat organik maupun anorganik larut dan lepas dari permukaan pori-pori karbon, sehingga menyebabkan peningkatan daya serap dari karbon aktif tersebut.

Dari data hasil penelitian analisa daya serap iodin yang didapatkan yaitu daya serap iodin tertinggi pada karbon aktif

menggunakan aktivasi larutan asam asetat dan suhu karbonisasi 600°C yaitu sebesar 629,905 mg/g. Daya serap iodine terendah yaitu pada karbon aktif tanpa perlakuan aktivasi dengan suhu 400°C yaitu sebesar 265,671 mg/g. Hasil tersebut sesuai dengan perhitungan luas permukaan pori karbon aktif yang dihasilkan, dimana luas permukaan pori tertinggi yaitu sebesar 694,661 m²/g untuk karbon aktif yang diaktivasi menggunakan larutan asam asetat dan terendah yaitu sebesar 292,982 m²/g karbon aktif tanpa proses aktivasi. Daya adsorpsi karbon aktif terhadap iodine memiliki korelasi dengan luas permukaan dari karbon aktif. Semakin besar angka iodine maka semakin besar kemampuannya dalam mengadsorpsi adsorbat atau zat terlarut. Untuk bilangan Iodin akan semakin bertambah, daya serap terhadap Iodin semakin besar dengan kenaikan suhu, ini berarti bahwa kualitas arang aktif akan semakin baik dalam penyerapan.

4.2.2 Pengaruh Variasi Jenis *Activator agent* terhadap Daya Serap Larutan Iodin

Dilakukan analisa ANOVA untuk variasi jenis *activator agent* terhadap daya serap iodine diperoleh bahwa faktor perbedaan jenis *activator agent* terhadap karbon aktif berpengaruh sangat nyata terhadap daya serap iodine karena memiliki nilai F hitung sebesar 354,171 lebih besar dibandingkan dengan nilai F tabel 1% sebesar 5,56. Dan pada **Gambar 4.2** menunjukkan bahwa hubungan jenis larutan *activator agent* yang digunakan terhadap nilai daya serap larutan iodine. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa setiap perlakuan yaitu berupa tanpa proses aktivasi, penambahan larutan aktivator kalsium klorida, seng klorida dan asam asetat, menunjukkan bahwa masing-masing perlakuan dengan variasi jenis *activator agent* yang digunakan memberikan pengaruh yang spesifik pada hasil nilai bilangan iodine karbon aktif. nilai rerata daya serap iodine dan notasi uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) dengan tingkat kepercayaan sebesar 1% akibat perlakuan jenis *activator agent* tersebut disajikan dalam **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Hasil Uji DMRT nilai bilangan iodin berdasarkan jenis *activator agent*

Perlakuan	Rerata	Notasi
Kontrol	330,199	a
CaCl ₂	422,674	b
ZnCl ₂	433,327	bc
CH ₃ COOH	536,254	d

Berdasarkan **Tabel 4.7** diatas menunjukan bahwa faktor jenis *activator agent* memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap daya serap iodin karbon aktif yang dihasilkan yaitu berupa karbon tanpa perlakuan aktivasi kimia dan penambahan larutan aktivator lainnya berupa kalsium klorida, seng klorida dan asam asetat. Pada semua perlakuan dengan aktivator dan tanpa aktivator terjadi peningkatan hasil bilangan iodin yang spesifik berdasarkan jenis *activator agent* yang digunakan. Hasil rerata bilangan iodin yang dihasilkan berdasarkan jenis *activator agent* diperoleh urutan dari nilai bilangan iodin terkecil hingga terbesar yaitu sebagai berikut perlakuan tanpa aktivator yaitu sebesar 330,199 mg/g, kalsium diklorida sebesar 422,674 mg/g, seng klorida sebesar 433,327 mg/g dan asam asetat sebesar 536,254 mg/g.

Hasil bilangan iodin terhadap jenis *activator agent* pada penelitian ini menggunakan bahan baku berupa tempurung kemiri menghasilkan bilangan iodin terbaik pada karbon yang diaktivasi menggunakan larutan asam asetat. Hasil penelitian ini menunjukan bahwa karbon aktif yang diaktivasi secara kimia menggunakan jenis *activator agent* memberikan pengaruh terdapat bilangan iodin atau daya serap iodin yang dihasilkan oleh karbon aktif. Hal ini sesuai dengan pendapat Kurniati (2008) bahwa proses aktivasi kimia adalah perubahan secara fisik dimana luas permukaan dari karbon meningkat dengan tajam dikarenakan terjadinya penghilangan senyawa tar dan senyawa sisa-sisa pengarangan. Bilangan iodin yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor yang dapat mempengaruhi nilai iodin selain jenis *activator agent* yaitu konsentrasi *activator agent* yang digunakan, yang mana semakin tinggi konsentrasi yang digunakan maka akan menghasilkan pori yang semakin besar pula pada karbon. Hal ini sesuai dengan pendapat Kurniati (2008)

yang menjelaskan bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan kimia aktivasi maka semakin kuat pengaruhnya larutan kimia tersebut mengikat senyawa-senyawa tar sisa karbonisasi untuk keluar melewati mikro pori-pori dari karbon sehingga permukaan karbon semakin porous yang mengakibatkan semakin besar daya adsorpsi karbon aktif tersebut.

Setiap aktivator berupa garam mineral, asam dan basa mempunyai kemampuan yang berbeda-beda dalam mengaktivasi arang atau karbon aktif juga dipengaruhi oleh pH aktivator. Dilihat dari hasil penelitian ini didapatkan bilangan iodin terbaik pada aktivator yang memiliki derajat keasaman rendah atau memiliki pH asam yaitu asam asetat. Terlihat pada **Tabel 4.7** yang mana karbon aktif yang diaktivasi menggunakan asam asetat yang memiliki pH rendah menghasilkan nilai daya serap iodin tinggi. Beda halnya dengan seng klorida dan kalsium klorida yang memiliki pH netral menghasilkan nilai daya serap iodin yang tidak jauh berbeda. Hal ini sesuai dengan literatur yang menjelaskan bahwa derajat keasamaan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi sifat adsorpsi karbon aktif. Menurut Khuluk (2016) untuk asam-asam organik adsorpsi akan meningkat bila pH diturunkan, yaitu dengan penambahan asam-asam mineral. Ini disebabkan karena kemampuan asam mineral untuk mengurangi ionisasi asam organik tersebut. Sebaliknya bila pH asam organik dinaikkan yaitu dengan menambahkan alkali, adsorpsi akan berkurang sebagai akibat terbentuknya garam.

Menurut Kurniati (2008) untuk menghasilkan karbon aktif dengan karakteristik yang baik atau salah satunya daya serap iodin maka dapat dilakukan pada proses aktivasi yang mempergunakan garam mineral, asam dan basa sebagai aktivator, dimana aktivator ini ditambahkan pada bahan dasar sebelum dilakukan proses pembakaran atau karbonisasi. Maka pada saat proses karbonisasi dilakukan aktivator tersebut akan mengikat karbon yang baru berbentuk dengan gaya adhesi sehingga bila *aktivator* tersebut dicuci dengan air maka akan diperoleh karbon yang mempunyai permukaan lebih terbuka sehingga mempunyai gaya adhesi yang lebih besar.

4.2.3 Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi dan Jenis *Activator agent* terhadap Daya Serap Larutan Iodin

Setelah didapatkan hasil penelitian dilakukan analisa data dengan menggunakan uji ANOVA. Hasil analisa ANOVA pada **Lampiran 3.2** yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh kombinasi faktor variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent* terhadap daya serap iodine yang dihasilkan dari karbon aktif tempurung kemiri. Diperoleh hasil analisa ANOVA berpengaruh sangat nyata pada faktor kombinasi variasi suhu karbonisasi dan *activator agent* terhadap daya serap iodine karena nilai F hitung yang dihasilkan yaitu sebesar 8,721 lebih besar dibandingkan dengan nilai F tabel 1% sebesar 5,56. Pengaruh kombinasi faktor variasi suhu dan jenis *activator agent* memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap nilai daya serap iodine. Nilai rerata bilangan iodine dan notasi hasil uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) dengan tingkat kepercayaan sebesar 1% dapat disajikan pada **Tabel 4.8** yang menunjukkan bahwa 2 faktor yaitu suhu karbonisasi dan jenis *activator agent* memberi pengaruh nyata pada daya serap iodine.

Tabel 4.8 Rerata nilai daya serap iodine berdasarkan kombinasi faktor variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent*

Perlakuan	Rerata	Notasi
Kontrol 400°C	265,671	a
CaCl ₂ 400°C	346,160	b
ZnCl ₂ 400°C	366,430	bc
Kontrol 600°C	394,728	cd
CH ₃ COOH 400°C	442,603	e
CaCl ₂ 600°C	499,188	f
ZnCl ₂ 600°C	500,225	fg
CH ₃ COOH 600°C	629,905	h

Berdasarkan **Tabel 4.8** diatas menunjukkan bahwa faktor variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent* memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap daya serap iodine karbon aktif yang dihasilkan. Hasil rerata daya serap iodine yang dihasilkan berdasarkan variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent* diperoleh rentang hasil bilang iodine yang dilakukan dengan proses karbonisasi menggunakan suhu 400°C

yaitu sebesar 265 – 442 mg/g. Bilangan iodin tertinggi dengan perlakuan suhu karbonisasi 400°C yaitu sebesar 442,603 mg/g yang diaktivasi secara kimia menggunakan larutan aktivator CH_3COOH , sedangkan untuk bilangan iodin terendah didapatkan pada perlakuan karbon tanpa proses aktivasi secara kimia yaitu sebesar 265,671 mg/g. Hasil pengukuran bilangan iodin menggunakan suhu karbonisasi 600°C diperoleh rentang nilai bilangan iodin yaitu sebesar 394 – 629 mg/g. Bilangan iodin tertinggi dengan perlakuan suhu karbonisasi 600°C yaitu sebesar 629,905 mg/g yang diaktivasi secara kimia menggunakan larutan aktivator CH_3COOH , sedangkan untuk bilangan iodin terendah didapatkan pada perlakuan tanpa proses aktivasi secara kimia yaitu sebesar 394,728 mg/g. Sehingga dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa bilangan iodin tertinggi pada suhu 600°C menggunakan proses aktivasi dengan larutan aktivator CH_3COOH . Dan bilangan iodin terendah yaitu pada suhu karbonisasi 400°C dengan perlakuan karbon tanpa proses aktivasi secara kimia. Bilangan iodin tersebut mempresentasikan daya serap larutan iodin dari karbon aktif tempurung kemiri yang dihasilkan. Daya serap iodin yang didapat sesuai dengan perhitungan luas permukaan pori karbon aktif yang dihasilkan dimana luas permukaan pori karbon aktif terbesar yaitu karbon aktif yang diaktivasi menggunakan asam asetat dengan suhu karbonisasi 600°C dan terendah yaitu pada karbon aktif tanpa proses aktivasi dengan suhu karbonisasi 400°C.

4.3 Luas Permukaan Pori Karbon Aktif Tempurung Kemiri

Pengujian luas permukaan pori dapat dilakukan dengan berbagai metode adsorpsi isotermik seperti langmuir, BET (*Brunauer Emmet Teller*), Freundlich ataupun menggunakan metode SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui perubahan struktur pori karbon aktif ataupun permukaan pori karbon aktif. Pada penelitian ini menggunakan prosedur penentuan luas permukaan pori karbon aktif tempurung kemiri yang mengacu pada salah satu penelitian yaitu penelitian yang dilakukan oleh Wang (2008) dalam Rachmani dan Subandriyo (2014) yang menunjukkan bahwa luas permukaan karbon aktif yang dikarakterisasi menggunakan metode BET dan bilangan iodin tidak jauh berbeda sehingga metode bilangan iodin dapat mempresentasikan luas karbon aktif. Sehingga pada penelitian ini menggunakan acuan pendekatan bilangan iodin menggunakan

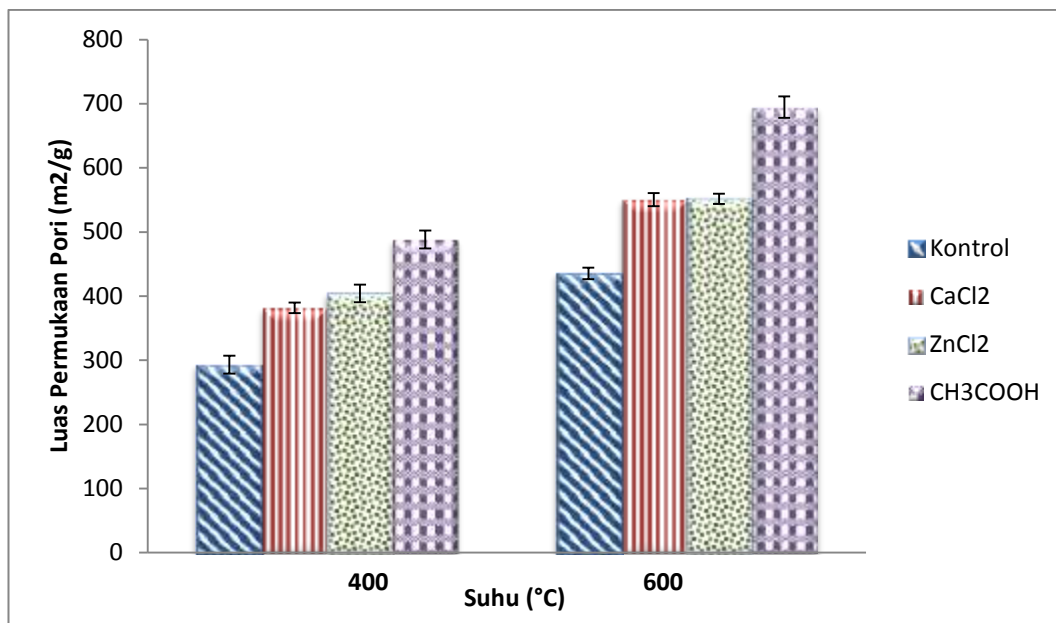
perhitungan penelitian Wang (2008) dalam Rachmani dan Subandriyo (2014), dimana bilangan iodin mempengaruhi luas permukaan pori karena bilangan iodin merupakan faktor pengali pada perhitungan luas permukaan pori karbon.

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Persamaan 3.6 luas permukaan pori karbon aktif dari penelitian ini diperoleh dari penggunaan 2 suhu karbonisasi (400°C, 600°C) dan 3 jenis *activator agent* (ZnCl₂, CaCl₂, dan CH₃COOH) serta karbon tanpa aktivasi kimia didapatkan rentang nilai luas permukaan pori yaitu sebesar 292,9820 – 694,6609 m²/g. Data hasil penelitian luas permukaan pori karbon aktif ini dapat disajikan dalam **Tabel 4.9**.

Tabel 4.9. Data hasil penelitian luas permukaan pori

Perlakuan	Luas Permukaan Pori (m ² /g)			Rata-rata	Standar Deviasi
	I	II	III		
Kontrol 400°C	306,482	278,509	293,955	292,982	±14,012
Kontrol 600°C	445,792	429,297	430,832	435,307	±9,112
ZnCl ₂ 400°C	390,223	404,643	417,431	404,099	±13,612
ZnCl ₂ 600°C	552,402	543,525	559,020	551,649	±7,775
CaCl ₂ 400°C	376,737	377,188	391,314	381,746	±8,289
CaCl ₂ 600°C	554,371	539,017	558,129	550,506	±10,125
CH ₃ COOH 400°C	488,363	501,916	474,031	488,103	±13,944
CH ₃ COOH 600°C	678,030	694,339	711,614	694,661	±16,794

Berdasarkan **Tabel 4.9** perhitungan luas permukaan pori karbon aktif bertujuan untuk mengetahui seberapa luas permukaan karbon aktif yang didapatkan menggunakan pendekatan bilangan iodin. Dari hasil penelitian didapatkan rerata luas permukaan pori karbon aktif terendah pada kontrol dengan suhu karbonisasi 400°C sebesar 292,982 m²/g dengan standar deviasi bernilai ±14,011 dan luas permukaan pori terbesar yaitu pada karbon aktif yang diaktivasi menggunakan larutan asam asetat dengan suhu karbonisasi sebesar 600°C sebesar 694,661 m²/g dan memiliki standar deviasi sebesar ±16,794. Dari **Tabel 4.9** dapat digambarkan dengan garfik hubungan suhu karbonisasi dan jenis *activator agent* terhadap nilai luas permukaan pori dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.



Gambar 4.3 Hasil karakteristik luas permukaan pori terhadap variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent*

Hasil analisa pada **Gambar 4.3** dapat dilihat bahwa karbon aktif yang dibuat dengan jenis *activator agent* berupa seng klorida, kalsium klorida dan asam asetat serta karbon aktif tanpa proses aktivasi atau kontrol, didapatkan luas permukaan pori karbon aktif semakin meningkat seiring meningkatnya suhu karbonisasi yang digunakan yaitu 400°C dan 600°C. Data hasil penelitian menunjukkan bahwa pada suhu 400°C dan 600°C tanpa dilakukan proses aktivasi atau kontrol menghasilkan luas permukaan pori karbon aktif yang semakin meningkat yaitu sebesar 292,982 m²/g dan 435,307 m²/g. Pada perlakuan karbon aktif yang diaktivasi menggunakan larutan kalsium klorida menghasilkan luas permukaan pori yang meningkat juga seiring bertambahnya suhu karbonisasi yaitu nilai luas permukaan pori sebesar 381,746 m²/g untuk suhu karbonisasi 400°C dan 550,506 m²/g yang dikarbonisasi menggunakan suhu 600°C. Pada perlakuan jenis aktivator larutan seng klorida diperoleh luas permukaan pori masing-masing sebesar 404,099 m²/g dan 551,649 m²/g dengan grafik yang meningkat pada suhu karbonisasi 400°C dan 600°C. Perlakuan jenis aktivator selanjutnya menggunakan larutan asam asetat diperoleh bilangan iodin pada masing-masing suhu yaitu sebesar 488,103 m²/g dan 694,661 m²/g dengan grafik yang meningkat pada suhu karbonisasi 400°C dan 600°C.

Data hasil penelitian luas permukaan pori terendah berdasarkan suhu karbonisasi yaitu pada suhu karbonisasi 400°C tanpa dilakukannya aktivasi

atau kontrol sebesar 292,982 m²/g sedangkan luas permukaan tertinggi pada suhu karbonisasi 600°C yang diaktivasi menggunakan asam asetat sebesar 694,661 m²/g. Didapatkan hasil penelitian ini dimana luas permukaan karbon aktif dipengaruhi oleh proses karbonisasi, proses ini menyebabkan terjadinya penguraian senyawa organik yang menyusun struktur bahan membentuk metanol, tar, dan hidrokarbon. Material padat yang tertinggal setelah proses karbonisasi adalah karbon dalam bentuk arang dengan permukaan spesifik yang sempit. Sehingga untuk memperluas luas permukaan maka dapat dilakukan dengan cara menaikkan suhu karbonisasi.

Hasil penelitian ini sesuai dengan literatur yang ada yang menjelaskan bahwa suhu karbonisasi mempengaruhi luas permukaan pori karbon aktif, yaitu menurut Laos (2016) seiring dengan peningkatan suhu, pengotor-pengotor yang mulanya terdapat pada bagian pori dan menutupi pori, ikut terlepas atau teruapkan sehingga memperluas permukaan karbon aktif. Semakin besar luas permukaan karbon aktif maka semakin besar kemampuan adsorpsi karbon aktif.

Berdasarkan jenis *activator agent* yang digunakan didapatkan bahwa luas permukaan pori karbon aktif tertinggi yaitu menggunakan larutan asam asetat dan terendah menggunakan larutan kalsium klorida. Data hasil penelitian ini dapat dilihat bahwa pembuatan karbon aktif dengan menggunakan suhu 400°C dan 600°C serta *activator agent* berupa larutan seng klorida, kalsium klorida dan asam asetat serta tanpa perlakuan aktivasi secara kimia menghasilkan luas permukaan pori yang lebih rendah dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Trilaksana (2017) yang mana luas permukaan karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit yang diaktivasi dengan larutan asam asetat menghasilkan luas permukaan pori sebesar 1110,87 m²/g. Perbedaan hasil yang didapatkan dari penelitian tersebut karena perbedaan besarnya konsentrasi dan jenis bahan baku yang digunakan. Sama halnya dengan pernyataan Lempang (2009) yang mengatakan bahwa kemampuan penyerapan arang aktif terhadap beberapa bahan tidak sama, dimana penyerapan yang baik terhadap suatu bahan belum tentu baik terhadap bahan lainnya. Besarnya luas permukaan berkaitan dengan besar nilai bilangan iodin yang dihasilkan, karena luas permukaan pori dihitung menggunakan pendekatan terhadap daya serap

iodin. Pada penelitian ini dapat dikatakan bahwa semakin besar luas permukaan pori karbon aktif maka semakin besar daya serap iodin.

4.3.1 Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi terhadap Perhitungan Luas Permukaan Karbon Aktif

Dilakukan analisa ANOVA untuk variasi suhu karbonisasi terhadap luas permukaan pori karbon aktif diperoleh bahwa faktor perbedaan suhu karbonisasi berpengaruh sangat nyata terhadap luas permukaan pori karena memiliki nilai F hitung sebesar 1133,601 yang nilai ini lebih besar dibandingkan dengan nilai F tabel 1% yaitu sebesar 8,86. Nilai rerata luas permukaan pori dan notasi uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) dengan tingkat kepercayaan sebesar 1% akibat suhu karbonisasi tersebut disajikan dalam **Tabel 4.10**.

Tabel 4.10 Hasil Uji DMRT luas permukaan pori berdasarkan suhu karbonisasi

Perlakuan	Rerata	Notasi 1%
400 °C	391,733	a
600 °C	558,031	b

Berdasarkan **Tabel 4.10** menunjukkan bahwa faktor suhu karbonisasi memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap karbon aktif yang dihasilkan. Pada semua perlakuan dengan aktivator dan tanpa aktivator dengan suhu karbonisasi 400°C dan 600°C terjadi peningkatan hasil luas permukaan pori yang spesifik berdasarkan suhu karbonisasi. Hasil uji DMRT luas permukaan pori yang dihasilkan berdasarkan suhu karbonisasi diperoleh pada temperatur 400°C menghasilkan rerata 391,733 dan temperatur 600°C menghasilkan rerata 558,031. Pada **Gambar 4.3** dapat dilihat bahwa pada arang aktif yang diberi perlakuan dengan perbedaan jenis aktivator berupa tanpa aktivasi atau kontrol, kalsium klorida, seng klorida dan asam asetat menghasilkan nilai luas permukaan yang semakin meningkat seiring bertambahnya suhu karbonisasi. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya suhu karbonisasi maka semakin banyak pori yang terbentuk. Sehingga pengaruh perlakuan berupa suhu karbonisasi sebesar 400°C dan 600°C memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap luas permukaan pori yang

dihasilkan oleh tiap karbon aktif. Hasil nilai luas permukaan pori pada penelitian ini menunjukkan luas permukaan pori semakin meningkat dengan meningkatnya suhu karbonisasi.

4.3.2 Pengaruh Variasi Jenis *Activator agent* terhadap Perhitungan Luas Permukaan Karbon Aktif

Dilakukan analisa ANOVA untuk variasi jenis *activator agent* terhadap luas permukaan pori karbon aktif diperoleh bahwa faktor perbedaan jenis *activator agent* berpengaruh sangat nyata terhadap daya serap iodine karena memiliki nilai F hitung sebesar 354,169 yang nilai ini lebih besar dibandingkan dengan nilai F tabel 1% yaitu sebesar 5,56. Nilai rerata luas permukaan pori dan notasi uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) dengan tingkat kepercayaan sebesar 1% akibat perlakuan jenis *activator agent* tersebut disajikan dalam **Tabel 4.11**.

Tabel 4.11 Hasil Uji DMRT luas permukaan pori berdasarkan jenis *activator agent*

Perlakuan	Rerata	Notasi
Kontrol	364,145	a
CaCl ₂	466,126	b
ZnCl ₂	477,874	bc
CH ₃ COOH	591,382	d

Berdasarkan **Tabel 4.11** menunjukkan bahwa faktor jenis *activator agent* memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap karbon aktif yang dihasilkan yaitu berupa karbon tanpa perlakuan aktivasi kimia dan penambahan larutan aktivator lainnya yaitu berupa kalsium klorida, seng klorida dan asam asetat. Pada semua perlakuan dengan aktivator dan tanpa aktivator dengan suhu karbonisasi 400°C dan 600°C terjadi peningkatan hasil luas permukaan pori yang spesifik berdasarkan jenis *activator agent* yang digunakan. Hasil luas permukaan pori yang dihasilkan berdasarkan jenis *activator agent* diperoleh urutan dari nilai luas permukaan pori terkecil hingga terbesar yaitu sebagai berikut perlakuan tanpa aktivator yaitu sebesar 364,145 m²/g, kalsium diklorida sebesar 466,126 m²/g, seng klorida sebesar 477,874 m²/g dan asam asetat sebesar 591,382 m²/g. Hasil perhitungan luas permukaan pori

karbon aktif ini sesuai dengan pengujian SEM EDX yang didapatkan, yang mana pori yang dihasilkan pada karbon aktif yang diaktivasi menggunakan asam asetat lebih banyak dibandingkan dengan karbon aktif tanpa perlakuan aktivasi.

Hasil luas permukaan pori karbon aktif berdasarkan jenis *activator agent* yang digunakan didapatkan nilai terbesar yaitu pada karbon aktif yang di aktivasi menggunakan larutan asam asetat dan terendah pada karbon aktif yang diaktivasi menggunakan larutan kalsium klorida. Hal ini dikarenakan proses aktivasi yang dilakukan bertujuan untuk membentuk atau memperbesar pori. Dan menurut Trilaksana (2017) ion H^+ dari larutan CH_3COOH berdifusi ke dalam lapisan karbon yang menyebabkan rekahan pada permukaan karbon sehingga mengakibatkan rongga terbuka dan pori-pori terbentuk. Sehingga pori yang dibentuk oleh CH_3COOH lebih banyak dibandingkan dengan karbon aktif yang diaktivasi menggunakan kalsium klorida ($CaCl_2$). Hasil luas permukaan pori terhadap jenis *activator agent* pada penelitian ini menggunakan bahan baku berupa tempurung kemiri menghasilkan luas permukaan pori terbaik pada karbon yang diaktivasi menggunakan larutan asam asetat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif yang diaktivasi secara kimia menggunakan jenis *activator agent* memberikan pengaruh terhadap luas permukaan pori karbon aktif. Pori yang dihasilkan karbon aktif akan mempengaruhi daya serap atau absorpsi dari sebuah adsorben untuk menyerap adsorbat. Dimana luas permukaan pori karbon aktif besar dipengaruhi oleh bilangan iodin yang besar pula.

4.3.3 Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi dan Jenis *Activator agent* terhadap Luas Permukaan Pori Karbon Aktif

Hasil analisa ANOVA pada **Lampiran 3.3** yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh kombinasi faktor variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent* terhadap luas permukaan pori yang dihasilkan dari karbon aktif tempurung kemiri. Diperoleh hasil analisa ANOVA pada faktor kombinasi variasi suhu karbonisasi dan *activator agent* terhadap luas permukaan pori karena nilai F hitung yang dihasilkan yaitu sebesar 8,727 lebih besar dibandingkan nilai F tabel 1% sebesar 5,56. Dari hasil analisa tersebut menghasilkan bahwa pengaruh kombinasi faktor variasi suhu

dan jenis *activator agent* memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap luas permukaan pori karbon aktif. Dan nilai rerata luas permukaan pori karbon aktif dan notasi hasil uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) dengan tingkat kepercayaan sebesar 1% dapat disajikan pada **Tabel 4.12** yang menunjukkan bahwa 2 faktor tersebut juga memberi pengaruh nyata pada luas permukaan pori karbon aktif.

Tabel 4.12 Rerata nilai luas permukaan pori berdasarkan kombinasi faktor variasi suhu karbonisasi dan jenis *activator agent*

Perlakuan	Rerata	Notasi
Kontrol 400°C	292,982	a
CaCl ₂ 400°C	381,746	b
ZnCl ₂ 400°C	404,099	bc
Kontrol 600°C	435,307	cd
CH ₃ COOH 400°C	488,103	e
CaCl ₂ 600°C	550,506	f
ZnCl ₂ 600°C	551,649	fg
CH ₃ COOH 600°C	694,661	h

Dari **Tabel 4.12** rentang hasil perhitungan luas permukaan pori karbon aktif yang dilakukan proses karbonisasi menggunakan suhu 400°C yaitu sebesar 292 – 488 m²/g. Luas permukaan pori terbesar dengan perlakuan suhu karbonisasi 400°C yaitu sebesar 488,103 m²/g yang diaktivasi secara kimia menggunakan larutan aktivator CH₃COOH, sedangkan untuk bilangan iodin terkecil didapatkan pada perlakuan karbon tanpa proses aktivasi secara kimia yaitu sebesar 292,982 m²/g. Hasil perhitungan luas permukaan pori karbon aktif menggunakan suhu karbonisasi 600°C diperoleh rentang nilai luas permukaan pori sebesar 435 - 694 m²/g. Luas permukaan pori terbesar dengan perlakuan suhu karbonisasi 600°C yaitu sebesar 694,661 m²/g yang diaktivasi secara kimia menggunakan larutan aktivator CH₃COOH, sedangkan untuk luas permukaan terkecil didapatkan pada perlakuan tanpa proses aktivasi secara kimia yaitu sebesar 435,307 m²/g. Sehingga dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa luas permukaan pori terbesar pada suhu 600°C menggunakan proses aktivasi dengan larutan aktivator CH₃COOH. Dan luas permukaan pori terkecil yaitu pada suhu karbonisasi 400°C dengan perlakuan karbon tanpa proses aktivasi secara kimia. Nilai luas permukaan pori tersebut mempresentasikan luas pori dari karbon aktif

yang dihasilkan. Luas permukaan pori karbon aktif didapatkan dari perhitungan dengan bilangan iodine, yang mana daya serap iodine dapat mempresentasikan luas permukaan yang dihasilkan dari karbon aktif tempurung kemiri.

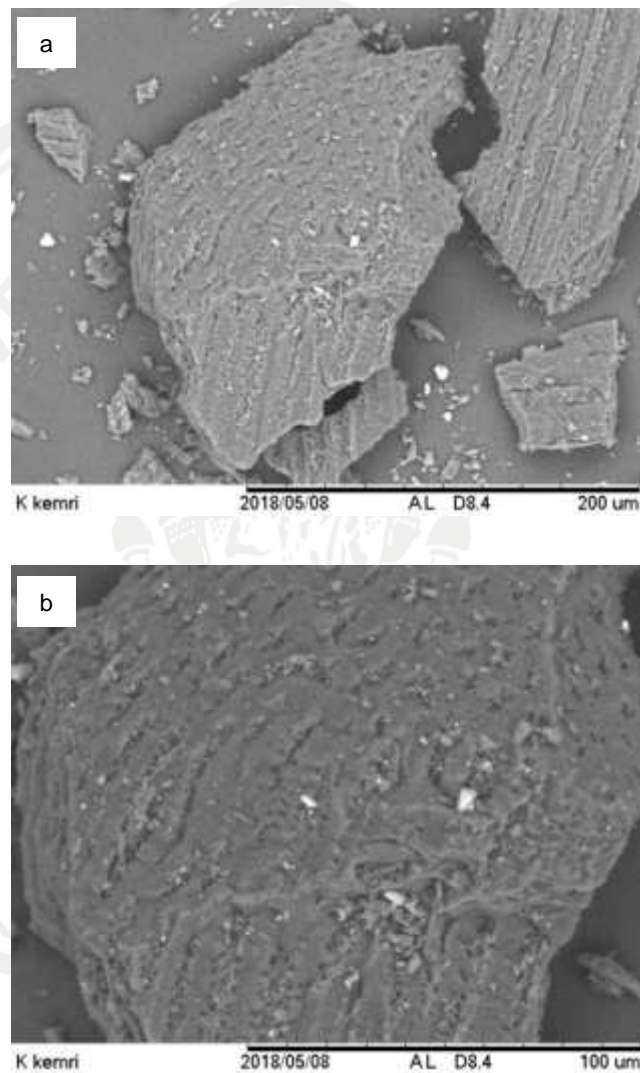
4.4 Pengujian SEM EDX

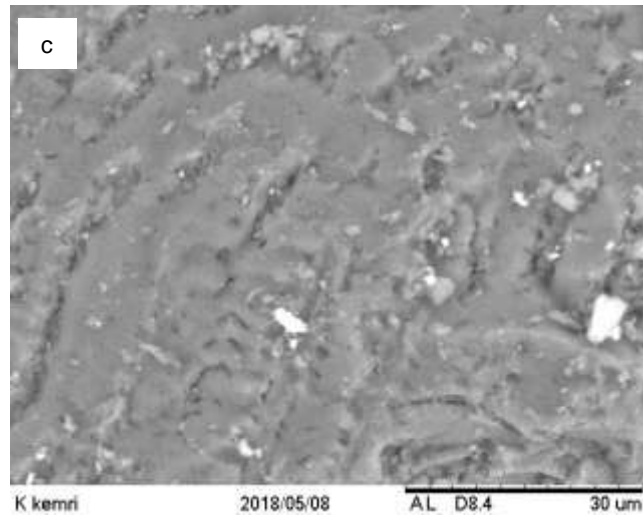
Bahan organik dan non organik yang akan menjadi bahan baku pembuatan karbon aktif yaitu bahan yang mengandung hemiselulosa, selulosa dan lignin yang tinggi. Serta mengandung kandungan karbon yang tinggi pula. Dimana tempurung kemiri merupakan salah satu bahan organik yang sangat cocok untuk dijadikan bahan baku dari karbon aktif. Karbon aktif merupakan senyawa karbon amorf, yang dapat dihasilkan dari bahan organik maupun non organik yang telah diaktivasi dan akan mengalami perubahan sifat-sifat fisika dan kimia, sehingga menghasilkan pori-pori yang terbuka dengan daya serap lebih tinggi dari karbon biasa. Pengukuran daya serap dapat dilakukan salah satunya dengan pengukuran daya serap larutan iodine. Dari hasil penelitian karbon aktif yang diaktivasi menggunakan larutan seng klorida, kalsium klorida dan asam asetat, dilakukan pengukuran daya serap iodine dan karbon aktif yang diaktivasi menggunakan larutan asam asetat (CH_3COOH) menunjukkan hasil yang terbaik. Sebagai data pendukung dapat dilihat dari perbedaan morfologi permukaan karbon dengan menggunakan *Spectroscopy Electron Microscope (SEM)* sebelum dan sesudah aktivasi. Pengujian SEM bertujuan untuk mengamati permukaan material atau bahan tertentu dengan tujuan mendapatkan bentuk lebih detail yaitu struktur mikro dan makro dari material atau bahan.

Hasil penelitian karbon aktif dari tempurung kemiri didapatkan hasil terbaik yaitu pada perlakuan suhu karbonisasi sebesar 600°C dengan penambahan aktivator asam asetat dan dibandingkan dengan karbon aktif tanpa dilakukannya proses aktivasi dengan suhu karbonisasi 600°C , yang mana 2 sampel ini dilakukan pencitraan dengan SEM EDX. Hasil pengujian pencitraan SEM akan menampilkan struktur permukaan dari karbon aktif tanpa aktivator atau kontrol dengan suhu karbonisasi 600°C yang digambarkan pada **Gambar 4.4 (a), (b), (c)** dan karbon aktif dengan penambahan aktivator asam asetat dan suhu karbonisasi 600°C

pada **Gambar 4.5 (d), (e), (f)**. Dan analisa komposisi dengan uji EDX yang terlihat pada **Tabel 4.13** dan **Tabel 4.14** yang menampilkan persentasi komposisi atom penyusun karbon aktif tempurung kemiri dari kedua perlakuan yaitu tanpa aktivasi atau kontrol dan dengan perlakuan aktivasi dengan menggunakan larutan aktivator berupa CH_3COOH .

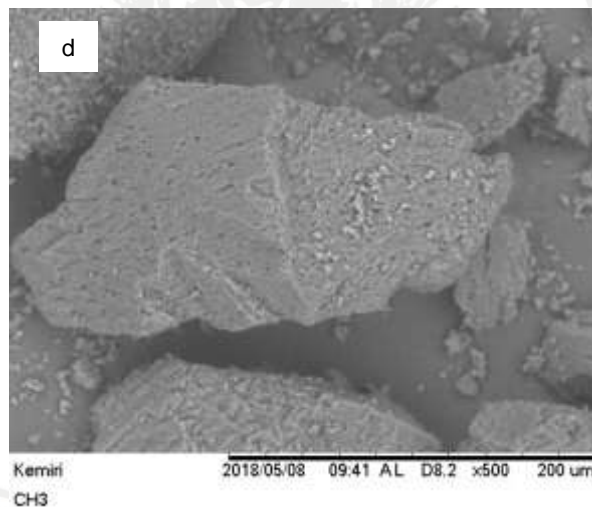
Hasil pengujian ditunjukkan pada **Gambar 4.4 (a), (b) dan (c)** untuk karbon aktif tanpa perlakuan atau kontrol dengan suhu karbonisasi 600°C .

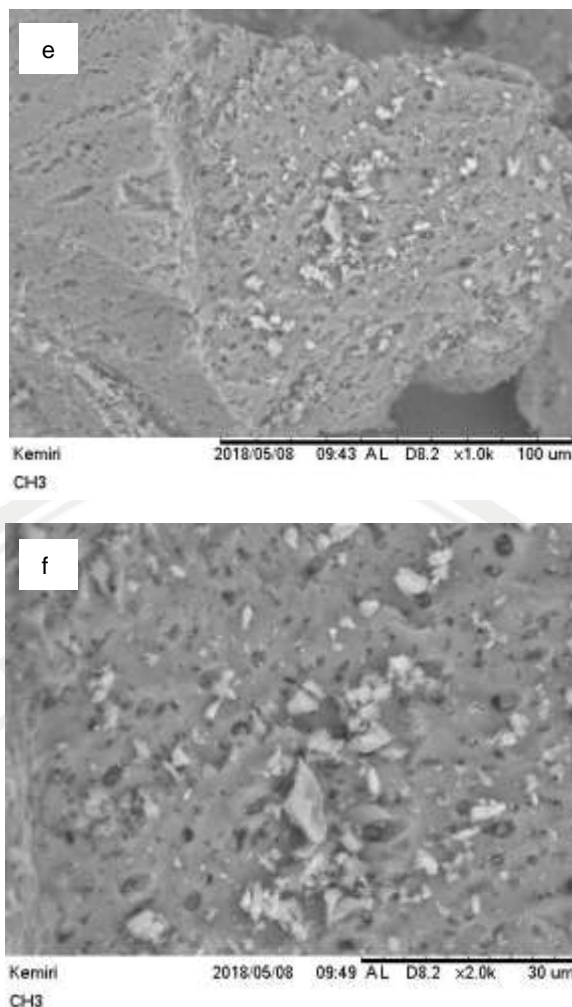




Gambar 4.4 Pencitraan struktur SEM karbon aktif tempurung kemiri kontrol suhu karbonisasi 600°C (a) pembesaran 500x, (b) pembesaran 1000x dan (c) pembesaran 2000x

Hasil pengujian ditunjukkan pada **Gambar 4.5 (d), (e) dan (f)** untuk karbon aktif dengan perlakuan penambahan aktivator asam asetat dan suhu karbonisasi 600°C.





Gambar 4.5 Pencitraan struktur SEM karbon aktif tempurung kemiri aktivasi dengan asam asetat dan suhu karbonisasi 600°C (a) pembesaran 500x, (b) pembesaran 1000x dan (c) pembesaran 2000x

Tabel 4.13 Persentasi komposisi atom penyusun karbon aktif tempurung kemiri kontrol dengan suhu karbonisasi 600°C

Elemen	Berat (%)
Karbon	82.449
Oksigen	17.046
Kalium	0.192
Kalsium	0.313

Tabel 4.14 Persentasi komposisi atom penyusun karbon aktif tempurung kemiri dengan aktivator CH_3COOH dan suhu karbonisasi 600°C

Elemen	Berat (%)
Karbon	87.769
Oksigen	11.078
Kalsium	1.153

Dari **Gambar 4.4** dan **Tabel 4.13** yang menjelaskan bahwa struktur permukaan pori dan komposisi atom penyusun karbon aktif kontrol. Dimana pada karbon aktif ini terdapat banyak pengotor berupa serbuk putih yang menutupi permukaan pori-pori karbon. Dan atom penyusun berupa karbon 82,449%, oksigen 17,046%, kalium 0,192% dan kalsium 0,313%. Untuk struktur permukaan pori dan komposisi penyusun karbon aktif dengan proses aktivasi menggunakan larutan asam asetat dapat dilihat pada **Gambar 4.5** dan **Tabel 4.14** yang menjelaskan struktur permukaan pori yang dihasilkan masih tertutupi dengan serbuk-serbuk putih yang merupakan zat pengotor. Dan komposisi atom penyusun karbon aktif yang diaktivasi menggunakan larutan asam asetat yaitu berupa 87,769% karbon, 11,078% oksigen dan 1,153% kalsium.

Untuk hasil SEM karbon aktif sebelum diaktivasi, terlihat masih banyak pengotor yang menutupi permukaan pori-pori karbon (**Gambar 4.4**) dibandingkan dengan setelah aktivasi (**Gambar 4.5**) terlihat permukaan pori-pori karbon menjadi lebih terbuka, meskipun masih terdapat pengotor yang melekat di permukaan karbon aktif dan menutupi pori, hal ini juga yang menyebabkan adsorpsi dari karbon aktif yang dihasilkan rendah atau belum memenuhi SNI. Adanya pengotor di permukaan karbon aktif disebabkan karena proses karbonisasi, proses aktivasi, dan proses pencucian yang kurang sempurna.

Proses karbonisasi memberikan pengaruh berupa pembentukan pori-pori pada permukaan karbon yang diduga terjadi karena penguapan sebagian dari senyawa hasil penguraian molekul-molekul besar seperti lignin, selulosa dan hemiselulosa. Dan pada tahap proses pencucian karbon aktif dengan menggunakan air suling masih kurang sempurna yang ditandai dengan masih adanya bentuk serbuk – serbuk putih terlihat pada hasil analisa SEM. Pembentukan dan perubahan bentuk pori yang dihasilkan karbon aktif tempurung kemiri dapat dipengaruhi oleh kenaikan suhu karbonisasi, suhu aktivasi dan jenis aktivator yang digunakan dalam proses pembuatan karbon. Pada kenaikan suhu karbonisasi memberikan pengaruh terhadap perubahan bentuk pori pada karbon aktif tempurung kemiri, dikarenakan pembentukan pori karbon aktif tanpa dan dengan impregnasi sangat mempengaruhi terbentuknya pori. Proses karbonisasi ini juga menyebabkan terjadinya proses penguraian senyawa organik

yang menyusun struktur bahan membentuk methanol, uap-uap asam asetat, tar-tar dan hidrokarbon. Pada penelitian ini penguraian yang terjadi kurang sempurna sehingga masih terdapat senyawa organik sebagai pengotor yang menutupi pori – pori karbon aktif. Menurut Pulido-Novicio dkk., (1998) dalam Sylvia (2014) terbentuknya pori-pori diperkirakan berasal dari adanya zat-zat yang mudah menguap yang terdegradasi pada proses pirolisis dari bahan baku menggunakan suhu tinggi.

Jenis aktivator juga memberikan pengaruh pada pori yang terbentuk, dimana terlihat pada (**Gambar 4.5**) karbon aktif yang diaktivasi secara kimia dengan asam asetat (CH_3COOH) dimana jenis aktivator ini dapat menambah besaran pori dan membentuk pori baru. Proses aktivasi adalah hal yang sangat perlu diperhatikan dalam pembuatan arang aktif selain dari pada bahan baku yang digunakan yang bertujuan untuk memperbesar pori. Dimana menurut Trilaksana (2017) ion H^+ dari larutan CH_3COOH berdifusi ke dalam lapisan karbon yang menyebabkan rekahan pada permukaan karbon sehingga mengakibatkan rongga terbuka dan pori-pori terbentuk. Menurut Eliza dan Desleni (2001) dalam Desi *et al* (2015) menyatakan bahwa adanya reaksi antara aktivator dengan logam-logam yang terdapat pada bahan pembuatan karbon aktif membentuk senyawa endapan yang tidak larut dalam air sewaktu pencucian dan menyebabkan daya serap karbon menjadi rendah.

Pada hasil analisa uji EDX dari **Tabel 4.13** dan **4.14** membuktikan adanya perbedaan antara komposisi atom penyusun dari 2 karbon aktif yang dihasilkan yaitu karbon aktif tanpa proses aktivasi dan karbon aktif yang dilakukan proses aktivasi menggunakan larutan asam asetat. Pada karbon aktif tanpa proses aktivasi kimia memiliki atom penyusun berupa karbon lebih sedikit dibandingkan karbon aktif yang diaktivasi menggunakan asam asetat, dan untuk atom penyusun berupa kalium terdapat pada karbon aktif tanpa proses aktivasi, sedangkan pada karbon aktif dengan proses aktivasi menggunakan larutan asam asetat tidak terdapat sama sekali. Hal ini karena perbedaan perlakuan antara 2 karbon aktif, pada karbon aktif yang diaktivasi menggunakan asam asetat dilakukan proses pemanasan kembali dengan suhu 300°C selama 1 jam. Sehingga dengan dilakukan pemanasan kembali maka kandungan lignin

yang belum terurai sempurna akan terurai menjadi karbon dan membuat habisnya kandungan kalium. Perbedaan kandungan komposisi atom penyusun antara kedua karbon aktif ini juga dipengaruhi karena proses pencucian yang kurang sempurna, sehingga masih terdapat senyawa organik yang menutupi permukaan pori atau rangka karbon aktif. Materi pengotor karbon aktif serta reaksi samping antara *activator agent* dengan karbon akan hilang saat proses pencucian karbon (Rachmani dan Subibandriyo, 2014).

Tingginya kandungan atom penyusun karbon aktif selain karbon dapat mempengaruhi daya serap dari karbon aktif, karena atom penyusun selain karbon dapat menutupi pori-pori dari permukaan karbon aktif atau mengisi ruang atau pori-pori dari karbon aktif tersebut. Dimana syarat untuk menjadi karbon aktif atau adsorben yaitu memiliki pori yang banyak untuk menyerap adsorbat yang tidak diinginkan. Pengujian daya serap dapat dilakukan dengan menggunakan daya serap terhadap larutan iodin, dimana pada karbon aktif yang diaktivasi menggunakan larutan asam asetat memiliki daya serap iodin yang lebih tinggi dibandingkan dengan karbon aktif tanpa proses aktivasi. Sehingga semakin tinggi penyerapan terhadap larutan iodin maka semakin baik kualitas karbon aktif. Dan daya serap larutan iodin berbanding lurus dengan luas permukaan pori karbon aktif, yang mana semakin tinggi daya serap iodin maka luas permukaan semakin besar. Dimana luas permukaan dan pori karbon terbentuk karena penguapan komponen lignin yang terdegradasi akibat proses karbonisasi. Dengan demikian karbonisasi pada lignin mengubah pola struktur permukaan menjadi pola baru yang berbeda dengan asalnya. Dikaitkan dengan ukuran pori yang terbentuk kemungkinan bahwa semakin lebar dan banyaknya diameter pori dengan meningkatkan suhu karbonisasi, semakin banyak pula jumlah komponen lignin terdegradasi yang menguap. Penguapan bahan-bahan tersebut mengakibatkan pergeseran anatar lapisan kristalit dalam lignin dan mengubah struktur kristalitnya sehingga terbentuknya struktur lapisan amorf. Dengan terdekomposisinya lignin pada proses karbonisasi akan menambah jumlah kandungan karbon dan menguapkan zat pengotor atau *volatile* yang mengisi atau menutupi celah pori.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan karbon aktif menggunakan variasi suhu karbonisasi memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap karakteristik karbon aktif tempurung kemiri yang dihasilkan. Dimana pada penelitian ini karbon aktif yang di karbonisasi menggunakan suhu 600°C merupakan hasil terbaik.
2. Variasi *activator agent* juga memberikan pengaruh terhadap karakteristik karbon aktif tempurung kemiri yang dihasilkan. Dimana pada penelitian ini karbon aktif yang diaktivasi menggunakan asam asetat merupakan hasil terbaik.
3. Pencitraan SEM-EDX dilakukan pada hasil terbaik yaitu dapat dilihat pada daya serap iodin yang tinggi, luas permukaan pori yang besar dan kadar air yang rendah. Sehingga pencitraan SEM-EDX dilakukan untuk melihat struktur pori dan komponen atom penyusun karbon aktif dari 2 sampel tersebut yaitu kontrol dan karbon aktif yang diaktivasi dengan CH_3COOH . Dalam pengujian EDX, persentasi komposisi atom penyusun karbon aktif tempurung kemiri tanpa proses aktivasi atau kontrol dengan suhu karbonisasi 600°C menghasilkan atom berupa karbon, oksigen, pottasium dan calcium. Dan persentasi komposisi atom penyusun karbon aktif tempurung kemiri dengan aktivator CH_3COOH dan suhu karbonisasi 600°C menghasilkan atom berupa karbon, oksigen, dan kalsium.

5.2 Saran

Pada penelitian ini, dalam pengujian daya serap iodin belum memenuhi standar SNI 06-3730-1995 yaitu sebesar 750 mg/g. Sehingga menghasilkan luas permukaan pori yang kecil pula. Untuk memenuhi standar maka dapat dilakukan dengan menaikkan suhu karbonisasi, suhu aktivasi, jenis *activator agent*, dan konsentrasi *activato agent*. Serta dalam pengujian SEM-EDX sebaiknya dilakukan penambahan pembesaran untuk mendapatkan bentuk dan ukuran pori yang lebih jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- Azhary H, Surest J A, Fitri K, Arfenny. W. 2008. **Pengaruh Suhu, Konsentrasi Zat Aktivator dan Waktu Aktivasi terhadap Daya Serap Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri.** *Jurnal Teknik Kimia*, 2(15):17-22.
- Badan Pusat Statistik. 2015. **Produksi Perkebunan Rakyat Menurut Jenis Tanaman.** Dilihat 19 Desember 2017. <<https://www.bps.go.id/statictable/2013/12/31/1670/produksi-perkebunan-rakyat-menurut-jenis-tanaman-ribu-ton-2000-2015-.html>>
- Budianto, A. Romiarto, dan Fitrianingtyas. 2016. **Pemanfaatan Limbah Kakao (*Theobroma Cacao L*) sebagai Karbon Aktif dengan Aktivator Termal dan Kimia.** *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan IV*. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- Desi, A. S, R. Vinsiah, 2015. **Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif Cangkang Kulit Buah Karet (*Hevea Brasilliensis*) (The Effect Of Carbonisation Temperature Variation To The Adsorption Ability Of Rubber Fruit Shell Activated Carbon).** *Prosiding Semirata Bidang Mipa Bks-PTN Barat Universitas Tanjungpura, Pontianak* : 294 – 303.
- Dewi, T K, Arif N, Edwin P. 2009. **Pembuatan Karbon Aktif Dari Kuli Ubi Kayu (*Mannihot esculenta*).** *Jurnal Teknik Kimia*. 1 (16) : 24-30.
- Hartanto, S dan Ratnawati. 2010. **Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia.** *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 12(1) : 12 – 16.
- Idrus R, B P Lapanporo, Y S Putra. 2013. **Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa.** *Prisma Fisika*. 1 (1) : 50-55.
- Jamilatun S, Martomo S. 2014. **Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya untuk Penjernihan Asap Cair.** *Jurnal Spektrum Industri*. 12(1). 1 – 112.
- Jaya, F T. 2014. **Adsorpsi Emisi Gas CO, NO, dan NOx Menggunakan Karbon Aktif dari Limbah Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao L.*) pada Kendaraan Bermotor Roda Empat.** Skripsi. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Khuluk R. H. 2016. **Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (*Cocous nucifera L.*) sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru.** Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Krisnawati H, Maarit K, Markku K. 2011. **Aleurites moluccana (L.) Willd. Ekologi, Silvikultur dan Produktivitas.** CIFOR, Bogor.
- Kurniati.E. 2008. **Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Arang Aktif.** *Jurnal Penelitian Ilmu Teknik*. 8 (2) : 96-103
- Laos L E, Mahardika P A, Sulhadi. 2016. **Pengaruh Konsentrasi Karbon Aktif Kulit Kemiri dan Aplikasinya terhadap Penjernihan Limbah Cair Methylene Blue,** *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF 2016*. Universitas Negeri Jakarta, Jakarta, 141-144.

- Laos, L E, Masturi, Ian Y. 2016. **Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif Kulit Kemiri**. *Prodi Pendidikan Fisika dan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Jakarta*. 5 : 135-140.
- Lempang M. 2009. **Sifat-Sifat Arang Aktif Tempurung Kemiri dan Aplikasinya sebagai Komponen Media Tumbuh pada Tanaman Melina (*Gmelina arborea roxb.*)**. Disertasi Doktor. IPB. Bogor.
- Lempang M. 2014. **Pembuatan dan Kegunaan Arang Aktif**. *Jurnal Teknis Eboni*. 11(2): 65 – 80.
- Lempang, M. Wasrin S dan Gustan P. 2011. **Struktur dan Komponen Arang Serta Arang Aktif Tempurung Kemiri**. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 29(3) : 278-294.
- Lempang. M. 2009. **Sifat-Sifat Arang Aktif Tempurung Kemiri Dan Aplikasinya Sebagai Komponen Media Tumbuh Pada Tanaman Melina (*Gmelina arborea Roxb.*)**. Skripsi. IPB. Bogor.
- Previanti P, Hena S, Uji P, Sukrido. 2015. **Daya Serap Dan Karakterisasi Arang Aktif Tulang Sapi Yang Teraktivasi Natrium Karbonat Terhadap Logam Tembaga**. *Chimica Et Natura Acta*. 3 (2) : 48-53.
- Putranto A, Stephanie A. 2014. **Pemodelan Perpindahan Massa Adsorpsi Zat Warna pada Florisil dan Silica Gel Dengan Homogeneous and Heterogeneous Surface Diffusion Model**. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat. Universitas Katolik Parahyangan.
- Rachmani, F K, Mahmud S. 2014. **Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Produksi Karbon Aktif dengan Aktivasi Kimia**. Departemen Teknik Kimia. FT UI. Depok.
- Rahmayani F, Siswarni MZ. 2013. **Pemanfaatan Limbah Batang Jagung Sebagai Adsorben Alternatif pada Pengurangan Kadar Klorin dalam Air Olahan (*Treated Water*)**. *Jurnal Teknik Kimia*. USU. 2(2):1-5.
- Sahara E, Ni K D, Ida B P M. 2017. **Pembuatan Dan Karakterisasi Arang Aktif Dari Batang Tanaman Gunitir (*Tagetes Erecta*) Dengan Aktivator NaOH**. *Jurnal Kimia*. 11 (2) : 174-180.
- Siahaan S, Melvha H, Rosdanelli H. 2013. **Penentuan Kondisi Optimum Suhu dan Waktu Karbonisasi pada Pembuatan Arang dari Sekam Padi**. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 2(1). 26-30.
- Sylvia, H. M. Turmuzi, R. Hasibuan. 2014. **Proses Impregnasi $ZnCl_2$ pada Proses Pembuatan Karbon Aktif Tempurung Kemiri ($ZnCl_2$ Impregnation Process in Production of Candellnut Shell Activated Carbon)**. *Jurnal Hasil Penelitian Industri*. 27 (1) : 34 – 41.
- Trilaksana M. I.A. 2017. **Karakteristik Karbon Aktif Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Adsorben dengan Variasi Suhu Karbonisasi dan Jenis Activator agent**. Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang.
- Turmuzi, M. 2005. **Pengembangan Pori Arang Hasil Pirolisa Tempurung Kemiri**. *Jurnal Sistem Teknik Industri*. Volume 6, No. (3) : 21 – 25.
- Turmuzi, M. Arion S. 2015. **Pengaruh Suhu dalam Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Salak (*Salacca edulis*) dengan Impregnasi Asam Fosfat (H_3PO_4)**. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(1) : 42 – 46.

Pari, G., Hendra, D., dan Pasaribu, R.A., (2008), **Peningkatan Mutu Arang Aktif Kulit Kayu Mangium**, *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 26(3). 214-227.

